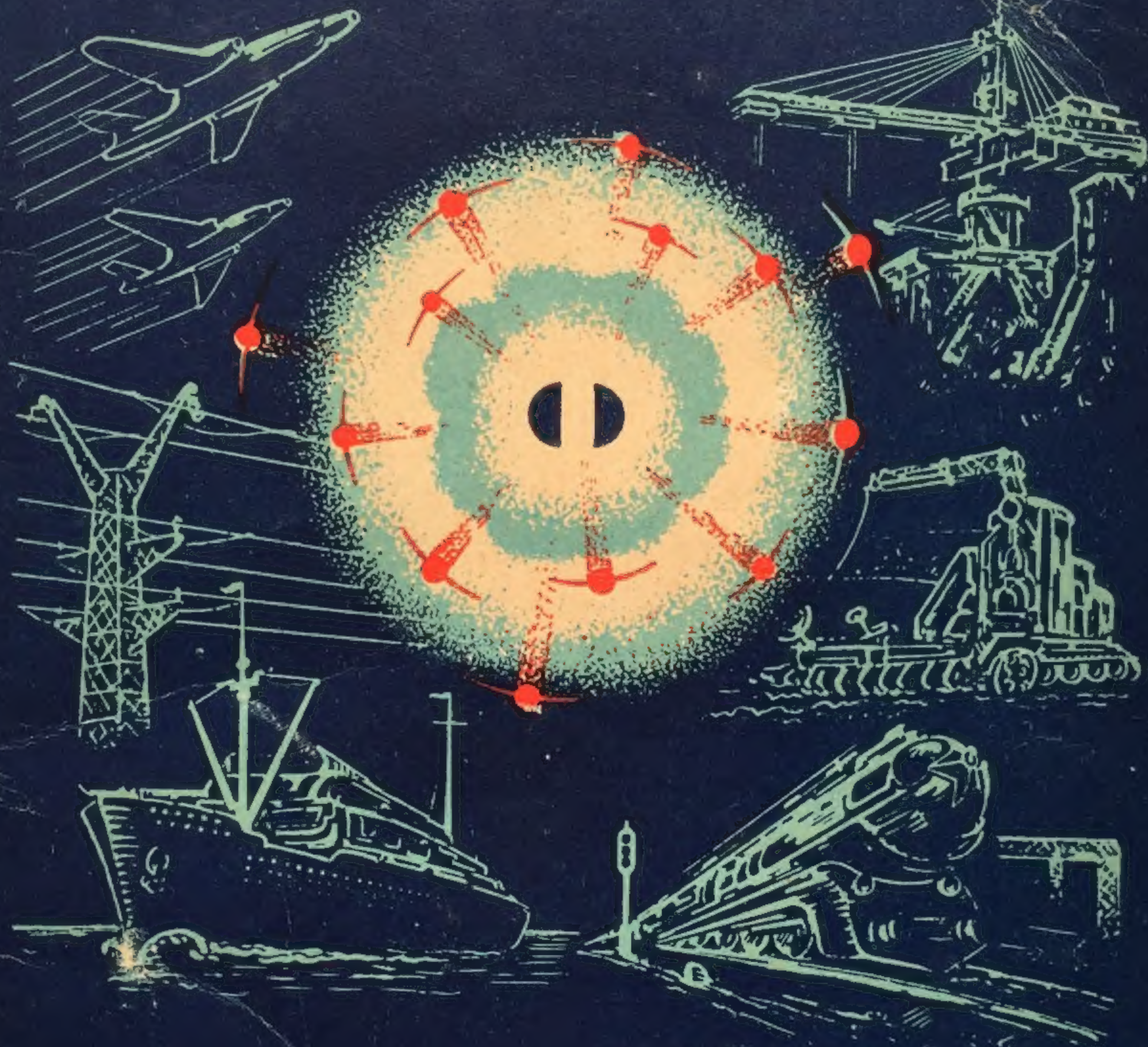
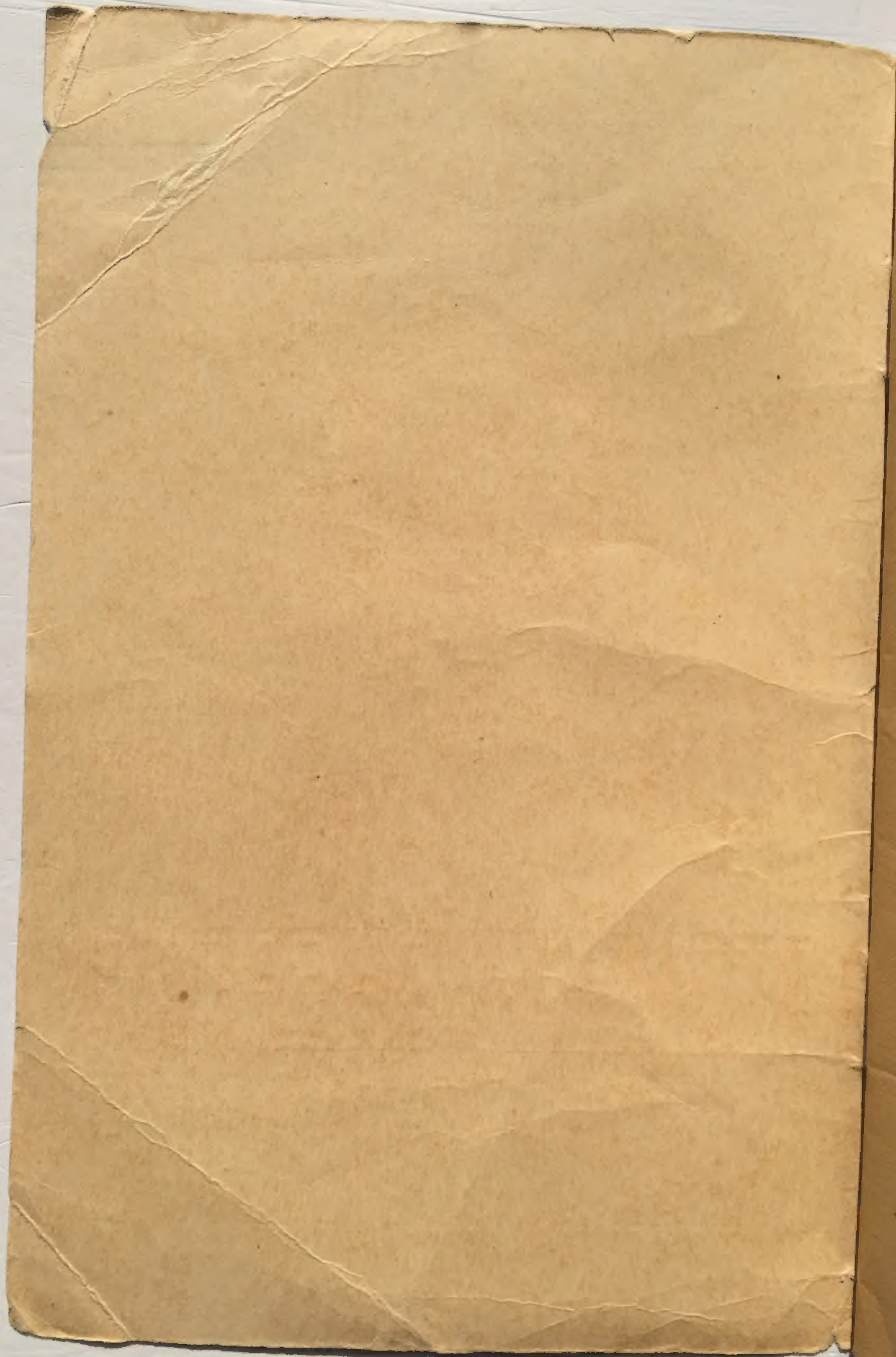


И. А. Наумов



АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСЭАФ · МОСКВА-1955



И. А. НАУМЕНКО
кандидат технических наук

АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
доктора технических наук
профессора
Г. И. ПОКРОВСКОГО

ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ
Москва—1955

В брошюре в научно-популярной форме рассказывается об атомной энергии, ее источниках, о способах ее высвобождения и применения, о некоторых мерах защиты в условиях атомного взрыва и применения боевых радиоактивных веществ.

Брошюра рассчитана на широкий круг читателей. Для чтения ее достаточно знания физики в объеме средней школы.

б
от
ж
да
С
ж
ун
нс
те
на
ме
к
нс
им
ны
агр
кру
мич
сов
ато
для
явля
мун
все
ной
иссле
рых
прим
1

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
I. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ АТОМНОЙ ФИЗИКИ	
Вещество и его строение	7
Строение атома и его ядра	9
Естественная и искусственная радиоактивность	15
Деление ядер и цепная ядерная реакция	20
Термоядерная реакция	30
Определение количества внутриатомной энергии, высвобожда- емой при ядерных превращениях	31
II. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В ВОЕННЫХ ЦЕЛЯХ	
Атомное и термоядерное оружие	37
Принцип устройства атомных и водородных бомб	39
Внешняя картина взрыва атомной бомбы	42
Поражающие факторы атомного оружия взрывного действия	49
Боевые радиоактивные вещества	62
Основы противоатомной защиты	64
III. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В МИРНЫХ ЦЕЛЯХ	
Использование атомной энергии радиоактивного распада ядер	71
Использование атомной энергии деления ядер, постепенно высвобождающейся в атомных котлах	79
Перспективы применения атомной энергии	84

Иван Артемович Науменко
АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Редактор Н. Н. Богданов
Техн. редактор А. С. Журавлев

Худож. редактор Б. А. Васильев
Корректор Л. И. Померанцева

Сдано в набор 22.1.1955 г. Подписано к печати 1.3.1955 г.
Формат бумаги $84 \times 108 \frac{1}{32}$ физ. печ. л. = 2,75 усл. печ. л. 4,51 уч.-изд. л. = 4,521.
Г-10224. Изд. № 1/482. Зак. 46.
Издательство ДОСААФ, Москва, Б-66, Ново-Рязанская ул., дом 26.
Цена 1 руб. 35 коп.

Отпечатано с матриц 1-й типографии имени С. К. Тимошенко в 4-й типографии
Управления Военного Издательства Министерства Обороны Союза ССР.
Зак. 1181.

ВВЕДЕНИЕ

Советский Союз последовательно проводит миролюбивую внешнюю политику, энергично борется за предотвращение новой мировой войны, за ослабление напряженности в международных отношениях, за укрепление и дальнейшее развитие деловых связей со всеми странами. Советское правительство добивается сокращения вооружений и безусловного запрещения оружия массового уничтожения, каким является атомное оружие. Атомное оружие по своему поражающему действию значительно превосходит обычные виды оружия и обладает намного большими радиусами поражения. Поэтому применение атомных и водородных бомб может привести к поражению большого количества мирного населения.

Владея ядерной энергией, Советский Союз стоит за использование ее исключительно в мирных целях.

Совершенно противоположную политику проводит империалистический лагерь, возглавляемый Соединенными Штатами Америки. Для осуществления своих агрессивных планов реакционные империалистические круги используют все средства политического и экономического давления, а также величайшие достижения современной науки. Замечательное открытие физиков — атомная энергия — используется ими для военных целей, для запугивания и порабощения народов.

В Советском Союзе наука служит интересам народа и является мощным оружием в борьбе за построение коммунизма. Для развития советской науки у нас созданы все условия. Коммунистическая партия окружает неустанной заботой работников науки, направляет их усилия на исследование наиболее актуальных проблем, среди которых важное место занимают проблемы практического применения атомной энергии.

В решении этих важных проблем советские ученые и инженеры достигли выдающихся успехов. Уже в 1947 году Советский Союз практически разрешил задачу получения атомной энергии. О мирном направлении советских атомных исследований, отнюдь не имевших целью создание смертоносного оружия, говорит и тот факт, что результаты этих исследований широко публиковались для всеобщего сведения.

Первые атомные бомбы были применены американскими империалистами 6 и 9 августа 1945 года против мирного населения незащищенных японских городов Хиросима и Нагасаки. Атомная бомбардировка этих городов не вызывалась военной необходимостью.

Первая в мире атомная электростанция для мирных целей полезной мощностью 5000 киловатт была построена и пущена в Советском Союзе 27 июня 1954 года и дала электрический ток для промышленности и сельского хозяйства. В настоящее время в Советском Союзе ведутся работы по созданию еще более мощных электростанций на атомной энергии — мощностью 50—100 тысяч киловатт. Это историческое событие имеет неизмеримо большее международное значение, чем сброс первой атомной бомбы американскими империалистами.

Успешное завершение работы советских ученых и инженеров по проектированию, строительству и вводу в действие первой в мире промышленной электростанции на атомной энергии является реальным шагом в деле мирного использования атомной энергии. Советский Союз опередил все страны, в том числе Америку и Англию, в деле использования атомной энергии в мирных целях, что является доказательством больших успехов передовой советской науки, советских ученых и инженеров в области атомной энергии.

Пуск электростанции на атомной энергии — крупный шаг в деле создания цветущей и счастливой жизни. Вот почему все миролюбивые народы мира с большой радостью встретили этот успех советского народа. Теперь можно сказать, что действительно наш век будет атомным веком и не потому, что имеется атомная бомба, а потому, что уже есть атомная электростанция. Пуск атомной электростанции в СССР вдохновляет миллионы людей во всем мире на еще более смелую борьбу за использование атомной энергии исключительно для прогресса

человечества, за немедленное запрещение атомного и водородного оружия. Примером этого является обращение Метеорологического общества Японии ко всему миру с заявлением, выражающим требование запретить использование оружия массового уничтожения. Население Маршалловых островов, на территории которых США проводят испытание атомных и водородных бомб, требует немедленного прекращения всех испытаний смертоносного оружия на территории этих островов.

Неоднократные предложения Советского Союза запретить атомное оружие отвергались и отвергаются правительствами агрессивных государств. Агрессивные круги Соединенных Штатов Америки и Англии и сейчас делают большую ставку на атомное оружие в подготавливаемой ими новой войне против Советского Союза и стран народной демократии. Вот почему Советский Союз, исходя из требований безопасности, должен также уделять внимание производству атомных и водородных бомб, укрепляя тем самым обороноспособность нашей Родины. Чтобы не быть застигнутым врасплох, советский народ должен быть готовым к действиям в условиях применения атомного оружия. Наличие в Советском Союзе атомного и водородного оружия еще больше укрепляет его обороноспособность, повышает роль Советского государства в его борьбе за мир во всем мире.

Современная промышленность, сельское хозяйство, транспорт и коммунальное хозяйство используют огромное количество электрической, химической и световой энергии. Перечисленные виды энергии концентрируются в электронной оболочке атома. Запасы этой энергии не могут в полной мере удовлетворять все более возрастающие потребности человечества. Перед учеными встал вопрос о необходимости изыскать новые пути получения энергии.

Длительный и настойчивый труд большой армии исследователей различных стран позволил раскрыть тайны атомного ядра, содержащего основные запасы мировой энергии. Большой вклад в науку об атоме внесли советские ученые.

Энергию, освобождающуюся при превращении ядер атомов одних химических элементов в ядра атомов других химических элементов, принято называть атомной энергией. Запасы атомной энергии очень велики. В одном

и том же количестве любого вещества в принципе содержится атомной, или, точнее, ядерной, энергии в миллионы раз больше, чем энергии химической, т. е. энергии, получаемой при сжигании угля или торфа в топках, бензина или керосина в двигателях и т. д. Однако, несмотря на весьма большой запас атомной энергии, ее высвобождение из недр атома и практическое использование связано с большими трудностями.

Что такое атомная энергия? Как ее можно получить и использовать?

Чтобы рассказать об этом, напомним вначале основные сведения из атомной физики.

1.

дер
сло
ски
т. е.
жел

хим
дру

вещ
дан
при
пред
Мас
ком
веще
носо

Ч
шать
ляют
чайш
части
Комб
разли
шари
водор
себе т
Пр
менты
тем, ч

I. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ АТОМНОЙ ФИЗИКИ

Вещество и его строение

Большинство встречающихся в природе веществ (вода, дерево, нефть, соль, уголь и др.) представляет собой **сложные химические вещества**. Физическими и химическими способами их можно разлагать на более простые, т. е. на **химические элементы** (водород, кислород, натрий, железо и др.).

Химические же элементы замечательны тем, что при химических реакциях их нельзя разложить на какие-либо другие простые вещества.

Какое же строение химического вещества? Сложное вещество состоит из совокупности мельчайших частиц данного вещества, которые называются **молекулами**. Например, вода есть совокупность молекул воды, спирт представляет собой совокупность молекул спирта и т. д. Массы этих молекул чрезвычайно малы. Основоположником научно обоснованной молекулярной теории строения вещества является великий русский ученый М. В. Ломоносов.

Что же мы обнаружим, если попробуем далее разрушать молекулу? Оказывается, что молекулы представляют собой сложные образования из совокупности мельчайших частиц химических элементов. Эти мельчайшие частицы химических элементов называются **атомами**. Комбинируясь различным образом, они могут порождать различные молекулы. Если условно атомы изображать шариками, то молекулу воды, состоящую из двух атомов водорода и одного атома кислорода, можно представить себе так, как это показано на рис. 1.

Простые химические вещества, т. е. химические элементы (водород, кислород, уран и др.), характеризуются тем, что они имеют молекулы, составленные из одинако-

вых атомов (а в ряде случаев атомы химических элементов существуют самостоятельно). В настоящее время известно 100 химических элементов, состоящих из атомов, которые химически разделить на более мелкие части нельзя. Следовательно, атомы являются мельчайшими носителями химических свойств вещества.

Великий русский химик Д. И. Менделеев открыл периодический закон химических элементов, который яв-

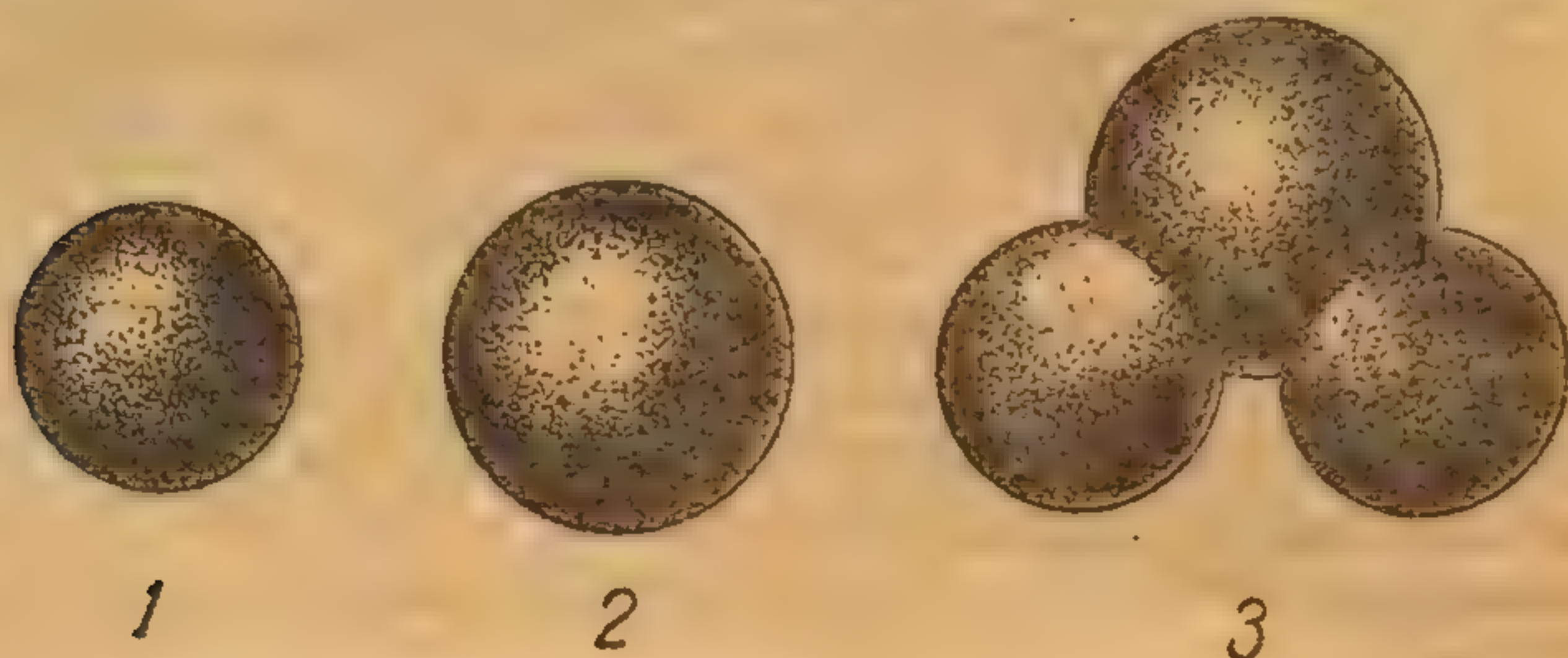


Рис. 1. Условное изображение атомов и молекул.
1 — атом водорода, 2 — атом кислорода, 3 — молекула воды, состоящая из двух атомов водорода и одного атома кислорода

ляется одним из основных в химии и физике. На основании этого закона все элементы были им размещены в особой таблице, которая получила название периодической системы элементов Д. И. Менделеева.

Различные химические реакции сводятся к соединению или разъединению атомов разных химических элементов. Так, например, при химических реакциях — горении или взрыве — в основном происходит окисление углерода с образованием углекислого газа (или окиси углерода) и окисление водорода с образованием воды. При этом атомы углерода, кислорода, водорода не расщепляются и остаются прежними.

При горении, например угля, выделяется много тепла. Один килограмм угля дает при сгорании около 8000 больших калорий¹ тепла. При некоторых реакциях наряду с выделением тепла наблюдается также выделение света (при горении, взрыве).

¹ Большой калорией называется количество тепла, необходимое для нагревания одного килограмма воды на один градус.

Выделение энергии в форме тепла при соединении различных веществ заставляет признать, что эти вещества до соединения уже содержали в себе некоторый запас энергии, но только в скрытой форме. Такая форма энергии, скрытая в веществах и «освобождающаяся» только при химических превращениях, называется **химической энергией**. Освобождение химической энергии связано с превращением ее в другие формы энергии — в световую, электрическую и механическую, но чаще всего в тепло. При химических превращениях освобождается только незначительная часть содержащейся в веществах энергии.

Строение атома и его ядра

Согласно современным представлениям атом имеет сложное строение. В центре атома находится положительно заряженное ядро, вокруг которого вращаются



Рис. 2. Схема строения атомов:
1 — водорода, 2 — гелия, 3 — кислорода.

частицы, имеющие отрицательный электрический заряд, называемые **электронами** (рис. 2).

Атом в целом в нормальных условиях является электрически нейтральным. Размеры атомов, а следовательно, и молекул, которые состоят из атомов, очень малы. Так, например, если бы нам удалось плотно уложить атомы водорода, то на отрезке длиной в 1 сантиметр, как показано на рис. 3, их поместилось бы 100 000 000.

Советский физик Д. Д. Иваненко впервые указал на то, что ядро атома имеет сложное строение и, в свою очередь, состоит из **протонов** и **нейтронов**. Нейтроны и протоны вместе иногда называют **нуклонами**.

Протоны и нейтроны в ядре связаны особыми ядерными силами сцепления. Особенность этих сил заключается в том, что они действуют на очень малых расстоя-

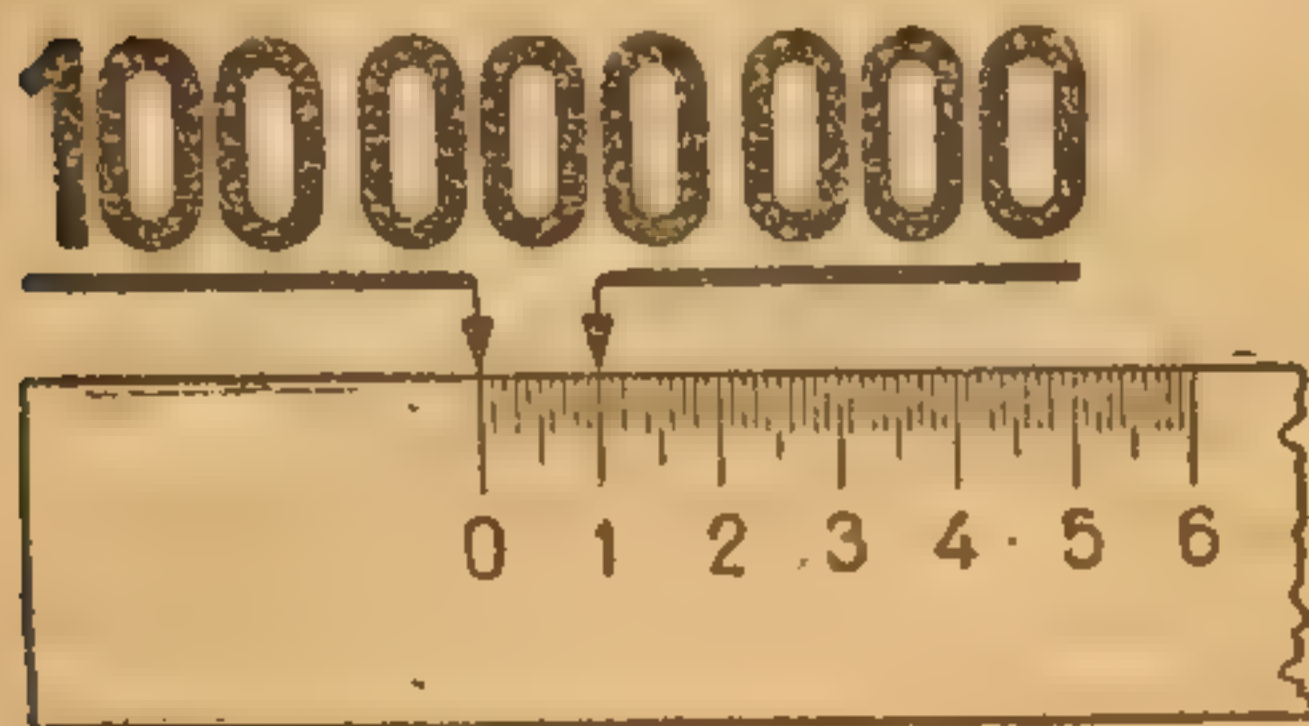


Рис. 3. На отрезке в 1 сантиметр можно уложить 100 000 000 атомов водорода

ниях — в пределах ядра. За пределами ядра они равны нулю.

Протон представляет собой элементарную частицу с положительным зарядом и ничтожно малой массой — равной 0,000 000 000 000 000 000 001672 грамма.

Нейтрон — электрически незаряженная частица, масса которой почти равна массе

протона и составляет 0,000 000 000 000 000 000 000 001674 грамма.

Схемы строения ядер атомов некоторых химических элементов приведены на рис. 4.

Из рисунка видно, что ядро атома простейшего химического элемента — водорода — состоит только из одного

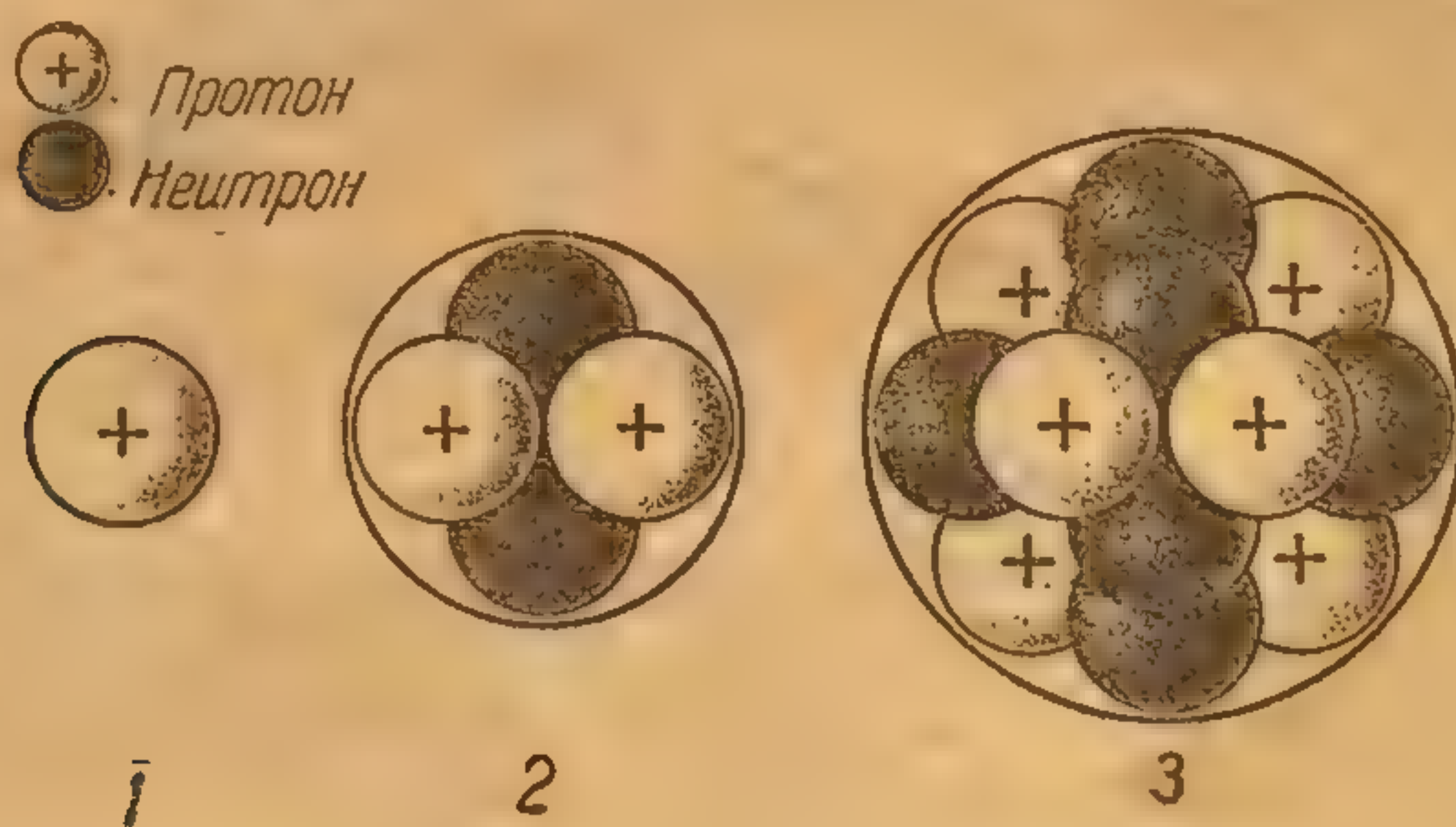


Рис. 4. Схемы строения ядер атомов:
1 — водорода, 2 — гелия, 3 — углерода

протона. Ядро атома гелия состоит уже из двух протонов и двух нейтронов.

Какие же размеры ядра? Оказывается, что размеры ядра (его диаметр) примерно в 10 000 раз меньше размеров атома. Если представить себе ядро увеличенным до

размера вишни, то величина атома будет соответствовать размерам здания высотой более 200 метров (рис. 5).

Наконец, электрон представляет собой отрицательно заряженную частицу, масса которого равна 0,000 000 000 000 000 000 9106 грамма. Если сравнить массу электрона с массой протона, то мы увидим, что электрон значительно легче протона (примерно в 1840 раз). Как



Рис. 5. Сравнение размеров ядра и атома

мы видим на рис. 6, весы уравновешены, если на чашах помещены соответственно один протон и 1840 электронов.

Следовательно, если подытожить все вышесказанное, то отсюда следует, что почти вся масса атома сосредоточена в его ядре, ибо электроны ничтожно малы по весу. А если вспомнить, что размеры ядра очень малы и ядро в десятки тысяч раз меньше атома, то плотность атомных ядер должна быть очень велика. Действительно, если бы нам удалось плотно уложить, например, ядра атомов водорода в одном кубическом сантиметре, то вес такого кубика составлял бы 100 000 000 тонн.

Следовательно, масса ядра атома определяется общим количеством протонов и нейтронов, составляющих его.

Заряд же ядра определяется числом протонов, находящихся в нем. При нормальном состоянии атома число электронов, движущихся вокруг ядра, равно числу протонов в ядре.

В атомной физике приняты следующие единицы заряда и массы. В качестве единицы заряда принята абсолютная величина заряда электрона. Далее, так как масса

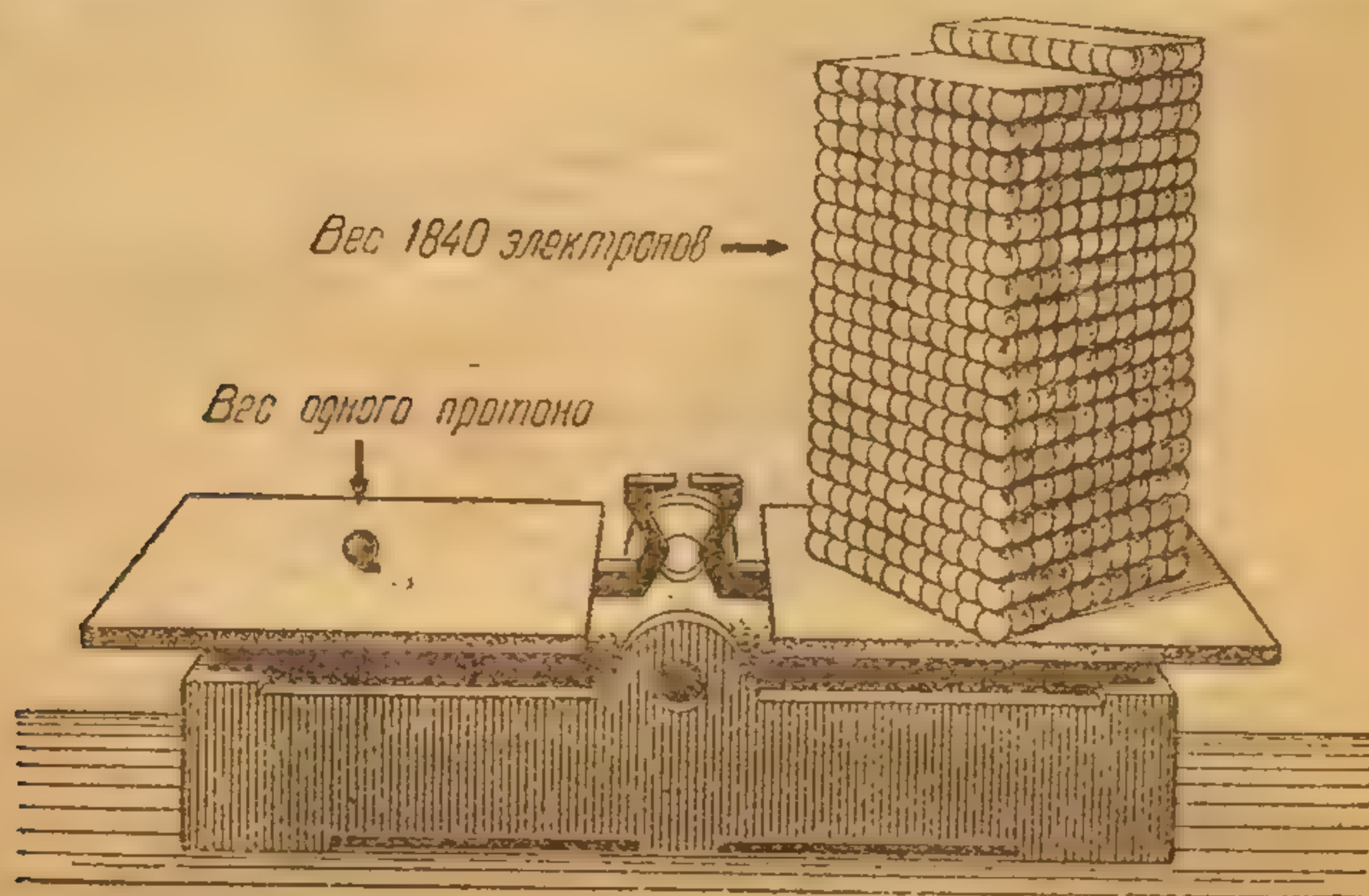


Рис. 6. Сравнение веса протона и электрона

атомов очень мала, то за единицу массы принимается $\frac{1}{16}$ часть массы атома кислорода, называемая атомной единицей массы. В этой системе единиц масса протона равна 1,00757, нейтрона — 1,00894 и электрона — 0,000549.

В периодической таблице элементов Д. И. Менделеева все химические элементы расположены в строгом порядке. Каждый химический элемент занимает вполне определенное место и имеет свой порядковый, или, как еще говорят, атомный, номер.

Величина же заряда ядра, которая определяется количеством протонов, выраженная в принятых нами элементарных единицах заряда, т. е. в электронах, равна порядковому номеру элемента в таблице Д. И. Менделеева.

Количество протонов и нейтронов в ядре определяет его массу. Это общее количество протонов и нейтронов в ядре получило название массового числа ядра. Массо-

вое число ядра — это атомный вес, выраженный с точностью до целых чисел.

В атомной физике ядра атомов всех химических элементов принято обозначать символами соответствующих химических элементов с двумя индексами — нижним и верхним, как показано на рис. 7. Нижний индекс — это заряд ядра, равный порядковому номеру элемента (рав-



Рис. 7. Условное обозначение ядра атома алюминия

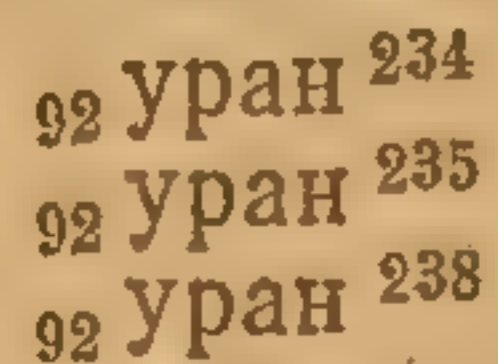
ный числу протонов, входящих в ядро, или, что то же самое, числу электронов атома).

Верхний индекс — это массовое число, т. е. число протонов и нейтронов в ядре. Например, символ $^{27}_{13}\text{Al}$ (или можно записать еще так $_{13}\text{алюминий}^{27}$) означает ядро атома алюминия с атомным номером 13 и массовым числом 27, т. е. ядро алюминия содержит 13 протонов и $27 - 13 = 14$ нейтронов.

Большинство встречающихся в природе химических элементов представляет собой смесь двух и более разновидностей данного элемента. Ядра атомов этих элементов имеют одинаковое количество протонов, т. е. имеют одинаковый заряд, но различные массовые числа. Эти разновидности данного элемента получили название **изотопов**, что на русском языке означает «одноместные». Действительно, химические свойства элемента определяются количеством протонов в ядре атома, т. е. зарядом его ядра. А так как ядра изотопов имеют одинаковое

число протонов, то они будут иметь один порядковый номер, т. е. занимать одну клеточку в периодической системе элементов.

Но так как массовое число изотопов различное, то при одинаковом количестве протонов ядра атомов изотопов имеют различные количества нейтронов. Действительно, в природе известны, например, следующие изотопы урана:



Следовательно, в состав ядер этих изотопов входит одинаковое количество протонов равное 92, но разное количество нейтронов равное соответственно:

$$\begin{array}{l} 234 - 92 = 142 \\ 235 - 92 = 143 \\ 238 - 92 = 146 \end{array}$$

В заключение данного раздела остановимся на так называемом процессе **ионизации** атомов.

Электроны, вращающиеся вокруг ядра атома, образуют так называемую электронную оболочку атома. Эта электронная оболочка состоит из нескольких слоев. Электроны атома при определенных условиях могут переходить с одного слоя на другой. Но этот переход возможен только при сообщении электрону извне дополнительной энергии. Если эта энергия достаточно велика, то электрон может вовсе покинуть пределы атома. В этом случае из электрически нейтрального атома образуется пара ионов¹. Этот процесс образования электрически заряженных частиц из нейтрального атома носит название **ионизации**.

В дальнейшем нам придется пользоваться специальной единицей энергии. В атомной физике в качестве такой единицы принят **электрон-вольт (эв)**, т. е. кинетическая энергия, приобретенная электроном при прохождении им электрического поля с разностью потенциалов в один вольт. Чаще употребляются более крупные единицы:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ килоэлектрон-вольт (кэв)} = 1000 \text{ эв} \\ 1 \text{ мегаэлектрон-вольт (мэв)} = 1\,000\,000 \text{ эв} \end{array}$$

¹ Ионами называются частицы, имеющие электрический заряд.

Естественная и искусственная радиоактивность

Первые сведения об атомной энергии были получены в конце прошлого столетия, когда ученые обнаружили, что некоторые химические элементы (уран, радий и др.) испускают в окружающее пространство не видимые глазом излучения. Это явление, т. е. испускание частиц и электромагнитного излучения атомами некоторых элементов, происходящее вследствие ядерных превращений, стали называть радиоактивностью (от латинского слова

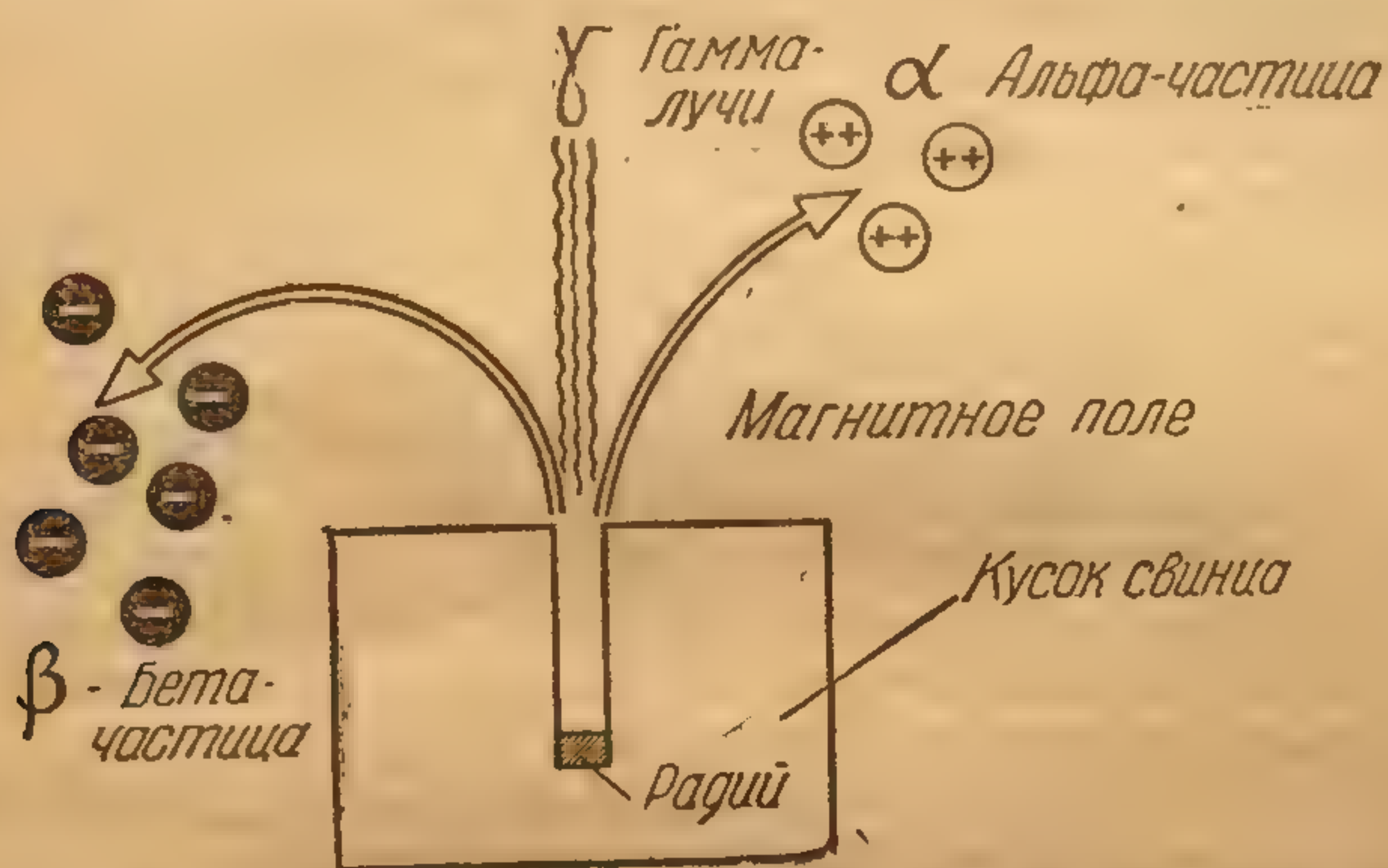


Рис. 8. Схема опыта по разделению радиоактивных лучей

«радиус» — луч). Ядерные превращения, т. е. самопроизвольные превращения ядер атомов одних элементов в ядра атомов других элементов, называются радиоактивным распадом.

Различают естественную и искусственную радиоактивность. Естественной называют радиоактивность естественных изотопов, т. е. химических элементов, которые встречаются в природе. Искусственной называют радиоактивность изотопов, получаемых искусственным путем. Естественная радиоактивность наблюдается у таких изотопов химических элементов, как, например, радий, уран, торий и другие.

Достижения современной физики позволили получить очень большое количество искусственных радиоактивных изотопов. В настоящее время получены радиоактивные

изотопы всех известных на сегодня химических элементов, начиная от водорода, самого легкого химического элемента, занимающего первое место в таблице Менделеева, и кончая центурием — самым тяжелым элементом, занимающим последнее, сотое место в этой таблице. Причем для многих химических элементов получены несколько изотопов. Например, известны такие изотопы водорода: легкий водород — $^1\text{протий}^1$, тяжелый водород — $^2\text{дейтерий}^2$ и сверхтяжелый водород — $^3\text{третий}^3$. Далее известны также несколько изотопов урана, например: $^{92}\text{уран}^{233}$, $^{92}\text{уран}^{234}$, $^{92}\text{уран}^{235}$, $^{92}\text{уран}^{238}$, $^{92}\text{уран}^{239}$. В последние годы было получено более 700 искусственных радиоактивных изотопов всех химических элементов, встречающихся в природе.

Какие же частицы испускают радиоактивные химические элементы при своем распаде? Как их можно обнаружить?

Для этой цели крупинку радиоактивного препарата вкладывали в свинцовую коробку (рис. 8). Такую установку помещали в сильное магнитное поле. Испускаемые этой крупинкой излучения, выходя через узкое отверстие, в магнитном поле раскладываются на три отдельных луча: вправо, влево и прямо, не отклоняясь. Этот опыт указывает, что некоторые вылетающие частицы имеют электрический заряд. Эти составляющие были названы соответственно альфа (α)-, бета (β)- и гамма (γ)-лучами. Дальнейшим исследованием было установлено, что альфа-частицы несут положительный заряд и являются ядрами атома гелия ($^2\text{гелий}^4$). Они вылетают из ядра радиоактивного элемента со скоростью, достигающей примерно 20 000 километров в секунду.

Отрицательно заряженные бета-частицы (β) представляют собой электроны, которые движутся с различными скоростями, достигающими примерно 250 000 километров в секунду.

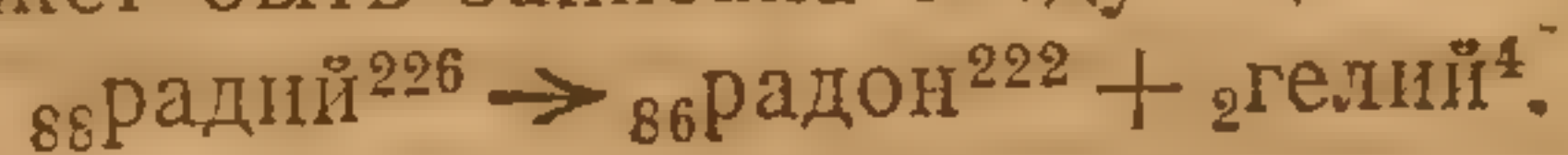
Альфа- и бета-распад зачастую сопровождается невидимым электромагнитным излучением, получившим название гамма-излучения. Гамма-излучение, испускаемое ядрами отдельными порциями, или, как говорят, квантами, представляет собой поток материальных электрически нейтральных частиц, называемых фотонами, и распространяется со скоростью света, т. е. 300 000 километров в секунду.

Естественно, что не все радиоактивные изотопы являются альфа- и бета-активными. Некоторые химические элементы испускают только альфа-частицы, другие элементы испускают только бета-частицы; существуют и такие элементы, которые испускают альфа- и бета-частицы одновременно.

Выше уже отмечалось, что в результате радиоактивного распада ядер образуются ядра новых химических элементов. Какие же это элементы?

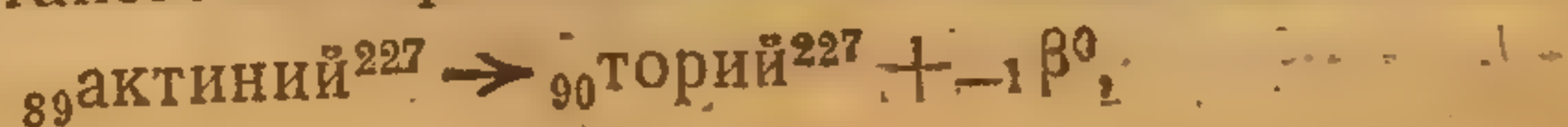
Испускание альфа-частиц характерно для атомов тяжелых химических элементов. Очевидно, что заряд ядра, испускающего альфа-частицу, должен как-то измениться, ибо альфа-частица, являясь ядром атома гелия, уносит часть положительного заряда распадающегося ядра. В действительности так и происходит.

В результате альфа-распада получается ядро нового химического элемента, заряд ядра которого будет меньше заряда распавшегося ядра на две единицы, ибо альфа-частица, т. е. ядро атома гелия, несет положительный заряд в 2 элементарные единицы заряда. А так как место любого химического элемента в таблице Менделеева определяется зарядом ядра, то новый химический элемент, полученный в результате альфа-распада, будет находиться на 2 клеточки левее исходного. Массовое число ядра нового элемента также уменьшится на 4 единицы (т. е. на величину массового числа альфа-частицы). Например, радий, испуская альфа-частицу, превращается в радиоактивный газ — радон. Эта ядерная реакция альфа-распада может быть записана следующим образом:



Другим видом радиоактивности является испускание бета-частиц, характерное для значительного числа естественных и искусственных радиоактивных изотопов. Испускание ядром бета-частицы происходит вследствие того, что один из нейтронов ядра превращается в протон. Следовательно, в этом случае заряд нового ядра увеличится на единицу. Так как вес электрона ничтожно мал, то потерей веса ядра вследствие испускания бета-частицы можно пренебречь. Поэтому в случае бета-распада принимается, что массовое число ядра остается прежним.

Пример такого бета-распада может быть записан так:



т. е. актиний, испуская бета-частицу, превращается в изотоп тория.

Возникает вопрос: какая же дальнейшая судьба альфа- и бета-частиц, испускаемых ядрами радиоактивных изотопов?

Эти частицы, вылетая с большой скоростью, сталкиваются с атомами окружающей среды. Сталкиваясь, они выбивают электроны из электронной оболочки атомов окружающей среды (воздуха, металлов и т. д.), в результате чего эти атомы превращаются в ионы.

Ионизирующую способность частиц оценивают удельной ионизацией, т. е. числом пар ионов, образующихся на одном сантиметре пути пробега частицы. В результате столкновения альфа-частицы с атомами окружающей среды она постепенно теряет скорость, а ее энергия постепенно уменьшается. Потеряв энергию, альфа-частица, т. е. ядро атома гелия, в конце концов присоединяет к себе свободные электроны, находящиеся всегда в любой среде, и таким образом превращается в атом гелия.

Бета-частица, т. е. быстро движущийся электрон, двигаясь, на своем пути также вызывает ионизацию атомов.

Замедленная бета-частица будет находиться в пространстве до тех пор, пока не будет присоединена ядром или атомом какого-либо элемента.

Распространение в любой среде гамма-излучения также сопровождается ионизацией атомов. В этом случае степень ионизации характеризуется числом пар ионов, образовавшихся под воздействием гамма-излучения в одном кубическом сантиметре среды. Эта степень ионизации и является мерой интенсивности гамма-излучения. Степень ионизации является также мерой поглощенной энергии гамма-лучей.

Альфа- и бета-частицы, а также гамма-кванты, распространяясь в любой среде (воздух, металл), взаимодействуют с атомами этой среды. В результате такого взаимодействия они теряют свою энергию и ослабляются. Путь, пройденный альфа- и бета-частицами, а также гамма-квантами в веществе, получил название **длины пробега**. Максимальной длиной пробега обладают гамма-лучи. Длина пробега будет тем меньше, чем больше плотность материала, через который проникает излучение. Это видно из таких данных.

Длина пробега альфа-частицы, обладающей энергией в 8 мегаэлектрон-вольт, в такой среде, как воздух, составляет 7,3 сантиметра, в воде — всего 0,06 миллиметра, в железе — 0,02 миллиметра.

Бета-частицы обладают большей длиной пробега. Например, бета-частица с энергией в 3 мегаэлектрон-вольта в воздухе имеет длину пробега 14,5 метра, в воде — 12,5 миллиметра, в алюминии — 4,9 миллиметра.

Гамма-излучение в воздухе распространяется на сотни метров без существенного ослабления. Даже очень плотные вещества слабо задерживают гамма-излучение. Например, слой железа толщиной 7 сантиметров ослабляет гамма-излучение, обладающее энергией в 1 мегаэлектрон-вольт, в 10 раз. Для ослабления гамма-излучения, обладающего той же энергией в 1 мегаэлектрон-вольт, в 10 раз требуется слой бетона около 25 сантиметров, а грунта — 30—35 сантиметров.

Из приведенных данных можно сделать вывод, что для защиты от альфа- и бета-излучения могут быть использованы простейшие средства, в то время как для защиты от гамма-лучей требуются специальные инженерные сооружения.

Итак, мы рассмотрели радиоактивные излучения химических элементов. Однако процесс радиоактивного распада у разных химических элементов протекает с различными скоростями.

Для характеристики распада ядер во времени принят так называемый период полураспада. Периодом полураспада называется промежуток времени, в течение которого распадается половина атомов этого вещества. Периоды полураспада для различных химических элементов колеблются в очень широких пределах — от миллиардных долей секунды до многих миллиардов лет. Так, период полураспада радия составляет 1590 лет, урана-238 — 4 500 000 000 лет. Это значит, что если взять один грамм, например, радия, то через 1590 лет от него останется полграмма, а через следующие 1590 лет — четверть грамма и т. д.

При распаде ядер большинства естественных и некоторых искусственных радиоактивных элементов образуются также радиоактивные ядра, в свою очередь, претерпевающие радиоактивный распад. Таким образом, в результате ряда превращений, сопровождающихся испуска-

нием альфа- или бета-частиц, образуется целая цепочка радиоактивных элементов. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не образуется конечный нерадиоактивный элемент. Совокупность всех продуктов последовательных радиоактивных распадов образует радиоактивное семейство, т. е. ряд данного элемента. В настоящее время таких радиоактивных семейств известно четыре; родоначальниками этих семейств являются: $_{92}\text{уран}^{238}$, $_{90}\text{торий}^{232}$, $_{92}\text{уран}^{235}$ и $_{94}\text{плутоний}^{241}$.

Деление ядер и цепная ядерная реакция

Наиболее эффективными в освобождении внутриатомной энергии являются реакции деления тяжелых ядер (урана, плутония) и соединения ядер легких элементов

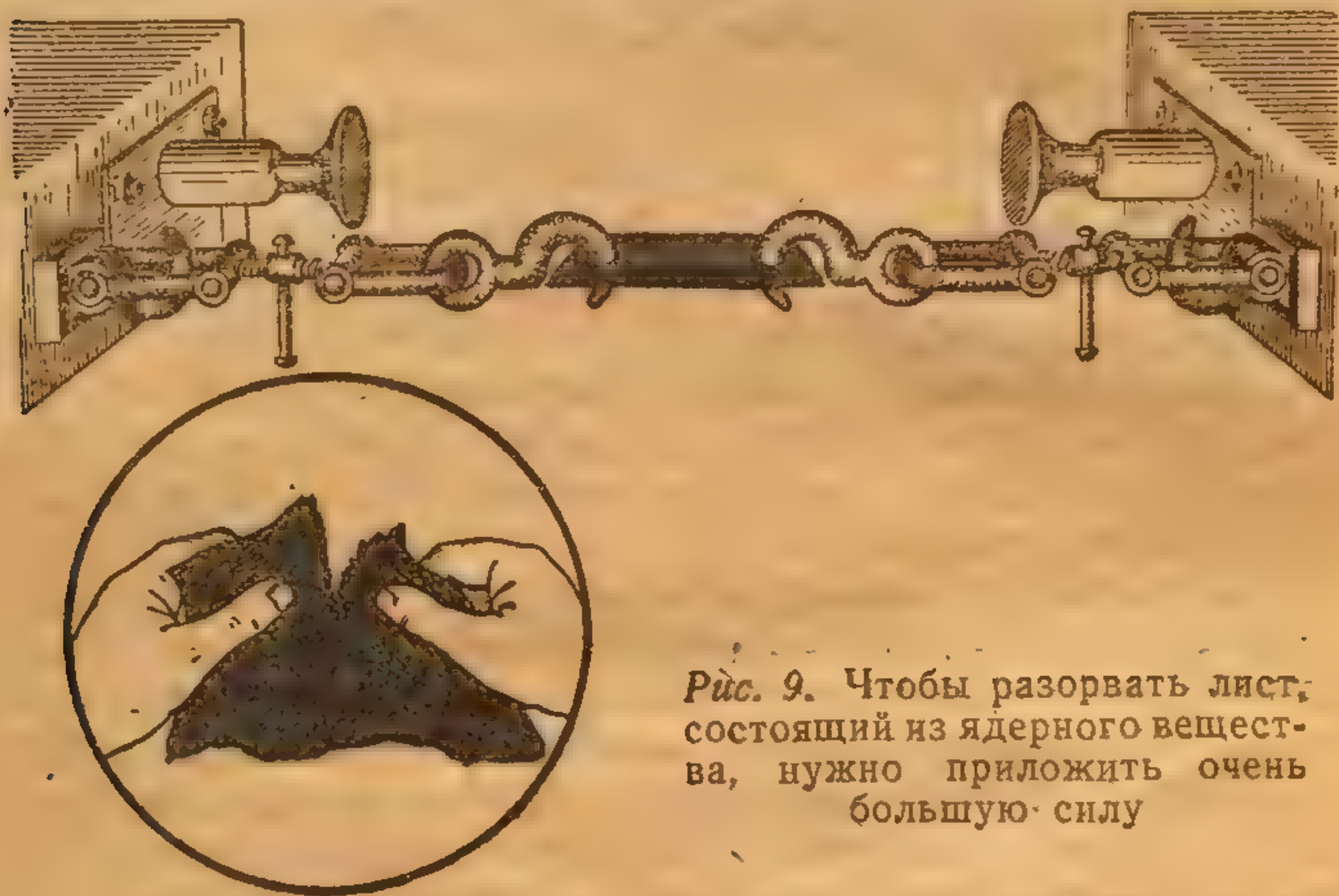


Рис. 9. Чтобы разорвать лист, состоящий из ядерного вещества, нужно приложить очень большую силу

(образование ядер гелия из ядер водорода). В этом разделе мы рассмотрим процесс деления ядер и высвобождения при этом ядерной энергии. Делением ядер называется процесс расщепления ядра на две (значительно реже три) части, называемые осколками.

Рассмотрим сначала взаимодействие частиц в ядрах легких элементов (кислорода, алюминия и др.). Как известно, одноименно заряженные частицы отталкиваются друг от друга электрическими силами. Аналогичный процесс происходит и между положительно заряженными

протонами, входящими в состав ядра. Казалось бы, что при таких условиях ядра химических элементов должны распадаться на составные части, т. е. на протоны и нейтроны. Между тем эти ядра вполне устойчивы и без вмешательства внешних сил не подвергаются разрушению (исключая радиоактивный распад). Чем объясняется такая устойчивость ядер? Тем, что между всеми элементарными частицами, из которых состоят ядра, кроме сил электрического отталкивания между протонами, стремящимися расколоть ядро, действуют особые ядерные силы



Рис. 10. Число протонов, входящих в состав ядра:
1 — в ядре углерода, 2 — в ядре урана

сцепления, препятствующие разрушению ядра. Эти ядерные силы несравненно больше молекулярных сил сцепления, действующих между молекулами вещества. Величина ядерных сил сцепления огромна. Если бы листок бумаги состоял из ядерного вещества, то для того, чтобы разорвать его, потребовалась бы сила нескольких сот паровозов (рис. 9).

Следовательно, в результате действия этих ядерных сил сцепления ядра легких элементов без воздействия внешних сил никогда не распадаются на осколки.

Иная картина наблюдается в ядрах тяжелых элементов, например урана-235, ядро которого состоит более чем из двухсот частиц — из 92 протонов и 143 нейтронов (рис. 10).

В ядрах урана-235 находится много положительно заряженных частиц (92 протона). Поэтому силы сцепления

элементарных частиц в ядре урана-235 значительно ослабляются и почти уравниваются силами электрического отталкивания между протонами (рис. 11).

Советские физики Г. Н. Флеров и К. А. Петржак обнаружили, что электрические силы отталкивания иногда разрывают ядро урана на два почти равных осколка. Однако такой процесс самопроизвольного, или, как

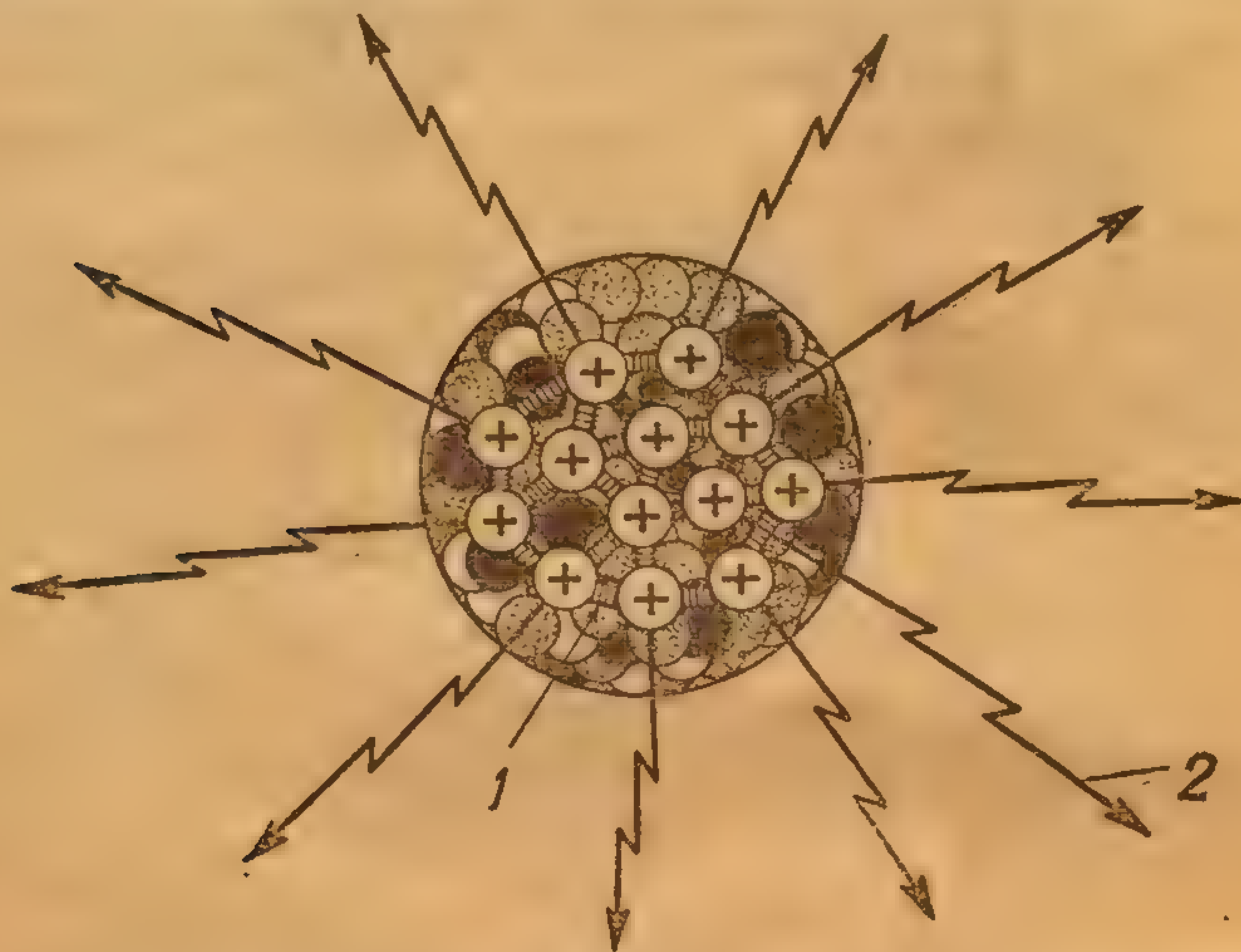


Рис. 11. Условное изображение сил сцепления элементарных частиц (1) и сил электрического отталкивания между протонами (2)

говорят, спонтанного, деления ядер урана происходит очень редко.

Но деление ядер атомов может происходить и при воздействии на них нейтронов, альфа-частиц, дейтеронов (ядер атомов тяжелого водорода), а иногда и при воздействии гамма-квантов. Так, если уран подвергнуть бомбардировке нейтронами, то вероятность деления ядра на осколки значительно увеличивается. Попадающий в ядро урана-235 нейтрон возбуждает сильное движение элементарных частиц и вызывает, как показано на рис. 12, деление ядра, которое сопровождается высвобождением внутриядерной энергии. Этот единый процесс высвобож-

дения ядерной энергии протекает одновременно по двум направлениям.

Во-первых, образовавшиеся осколки под действием электрических сил отталкивания разлетаются в противо-

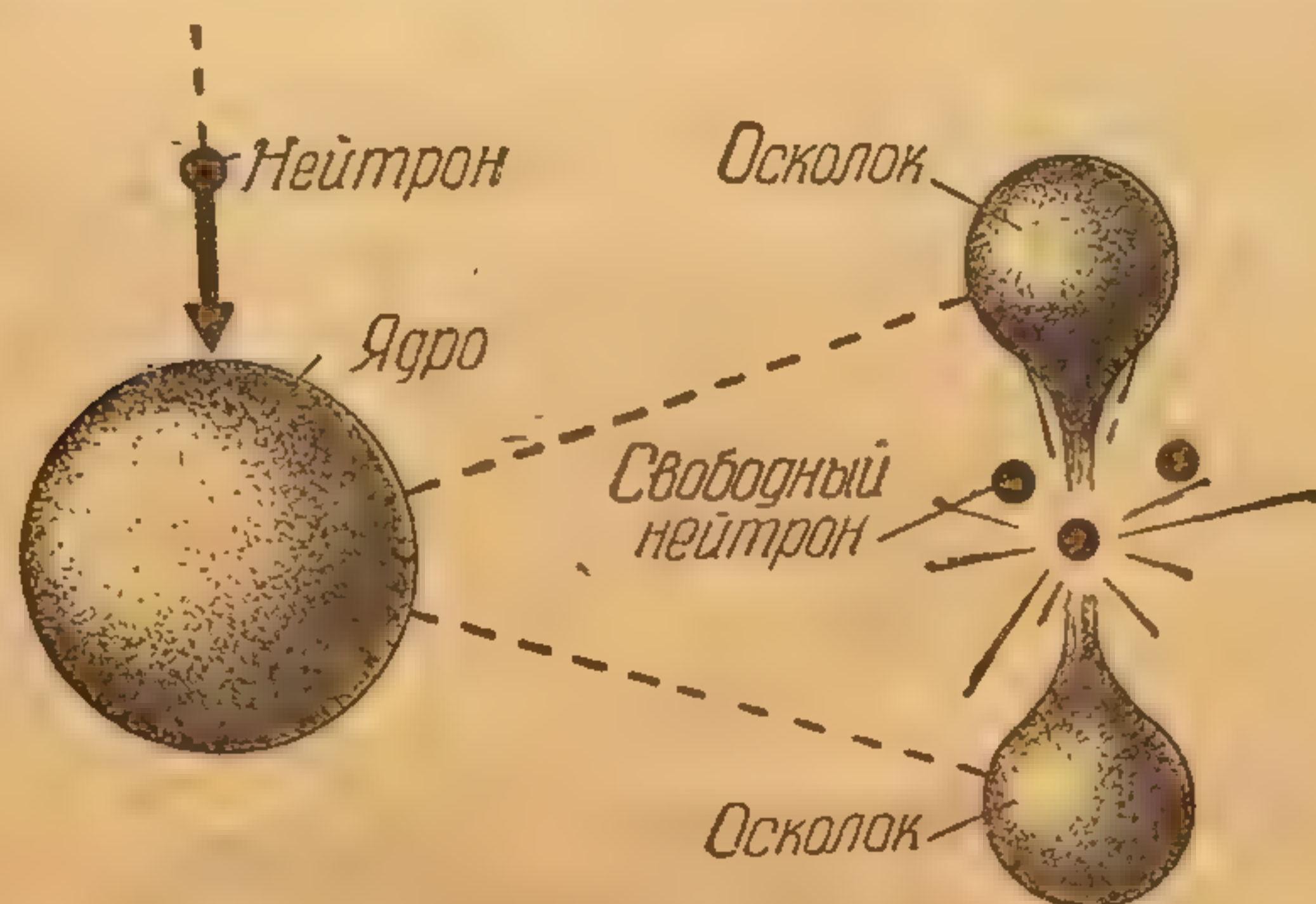


Рис. 12. Деление ядра под действием нейтрона

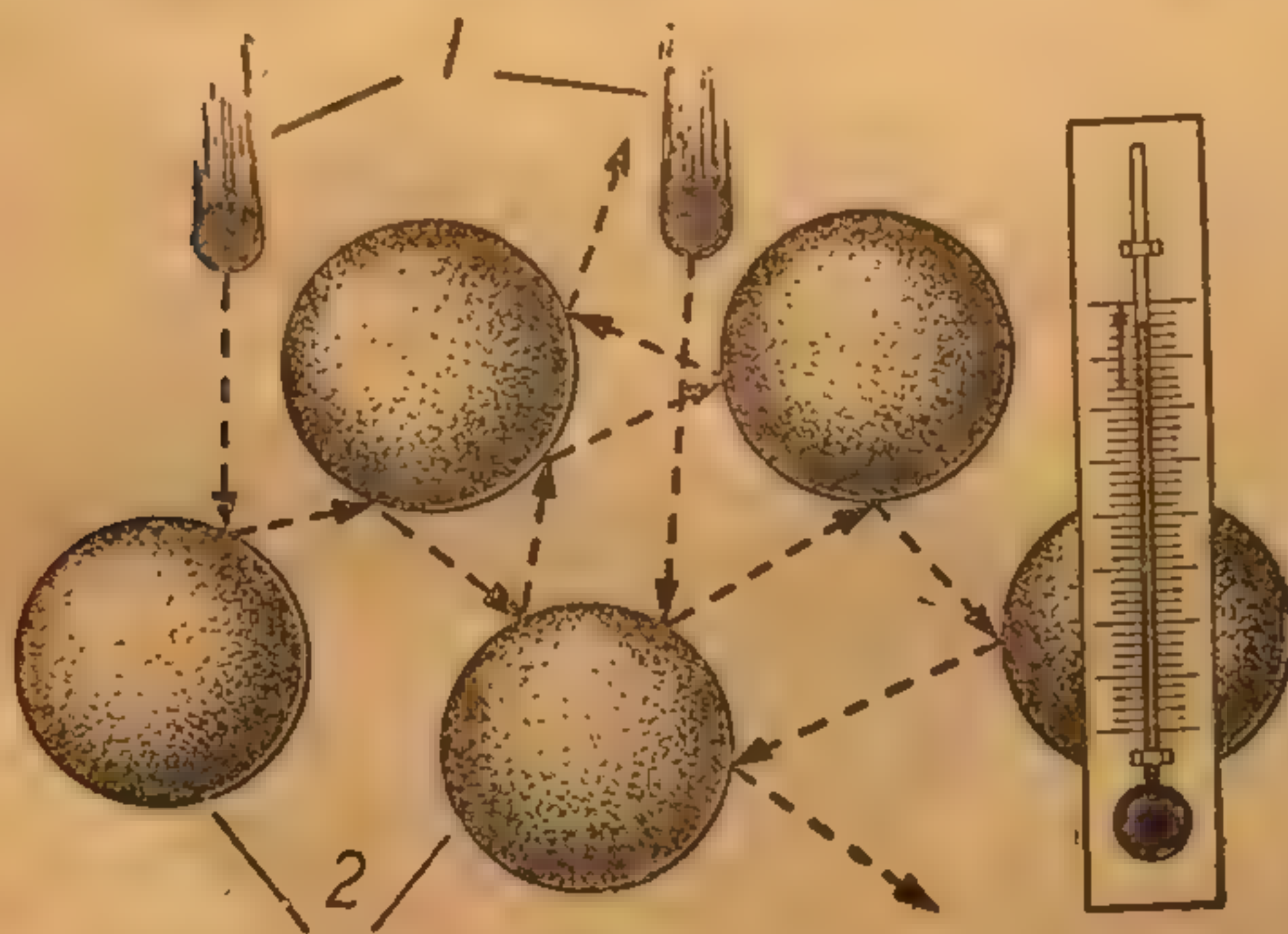


Рис. 13. Условное изображение столкновения осколков (1) с атомами окружающей среды (2)

положные стороны с громадными скоростями, достигающими примерно 15 000 километров в секунду. На своем пути осколки, как это показано на рис. 13, сталкиваются с атомами окружающей ядро среды и приводят их в быстрое движение. Нейтроны и быстро движущиеся

атомы и молекулы окружающей среды сталкиваются между собой. В результате этого температура среды резко повышается, что и является проявлением высвободившейся ядерной энергии. Примерно 80 процентов



Рис. 14. Расстояние между протонами в образовавшихся осколках первоначально больше, чем в исходном ядре

всей высвободившейся ядерной энергии передается в окружающую среду осколками.

Во-вторых, в образовавшихся осколках (т. е. ядрах), как это показано на рис. 14, протоны первоначально на-



Рис. 15. Схема последовательного деления ядра тяжелого элемента

ходятся на больших расстояниях R_2 , чем в ядре, подвергнувшись делению. Следовательно, электрические силы отталкивания между протонами, входящими в состав вновь образовавшихся более легких ядер (осколков), обратно пропорциональные квадрату расстояния между

ними, будут меньшими, чем в разделившемся ядре. Поэтому в образовавшихся осколках протоны отталкиваются друг от друга слабее, и вследствие действия ядерных сил сцепления осколки уплотняются. При этом также выделяется энергия.

В результате деления ядер атомов тяжелых элементов образуются радиоактивные атомы более легких химических элементов (рис. 15). Так, например, деление ядра урана сопровождается образованием двух, очень редко трех, осколков сильно ионизированных атомов теллура и



Рис. 16. Число нейтронов, входящих в состав ядер, образовавшихся в результате деления ядра урана-235

циркония, криптона и бария или других пар ядер. Эти осколки очень перегружены нейтронами. Дело в том, что в ядре урана-235 находится 143 нейтрона, а существующие в природе изотопы, например криптона и бария, имеют соответственно не более 50 и 82 нейтронов, т. е. в сумме 132 нейтрона (рис. 16). Ядра криптона и бария, образовавшиеся при делении урана, будут иметь 11 лишних нейтронов. Это приводит к тому, что в осколках лишние нейтроны превращаются в протоны, т. е. эти осколки оказываются радиоактивными и испускают бета-частицы.

Но перегрузка ядер образовавшихся атомов криптона и бария (т. е. осколков) нейтронами так велика, что, кроме бета-распада, несколько нейтронов (от одного до трех) испускаются при делении ядра урана в свободном виде (рис. 17).

Эта важная особенность — испускание ядром урана при его делении от одного до трех нейтронов в свободном виде — делает возможным осуществление так называемой цепной ядерной реакции. Сущность цепной ядер-

ной реакции сводится к тому, что при этой реакции, которая сама себя поддерживает и при которой освободившиеся при делении одного ядра урана нейтроны вызы-

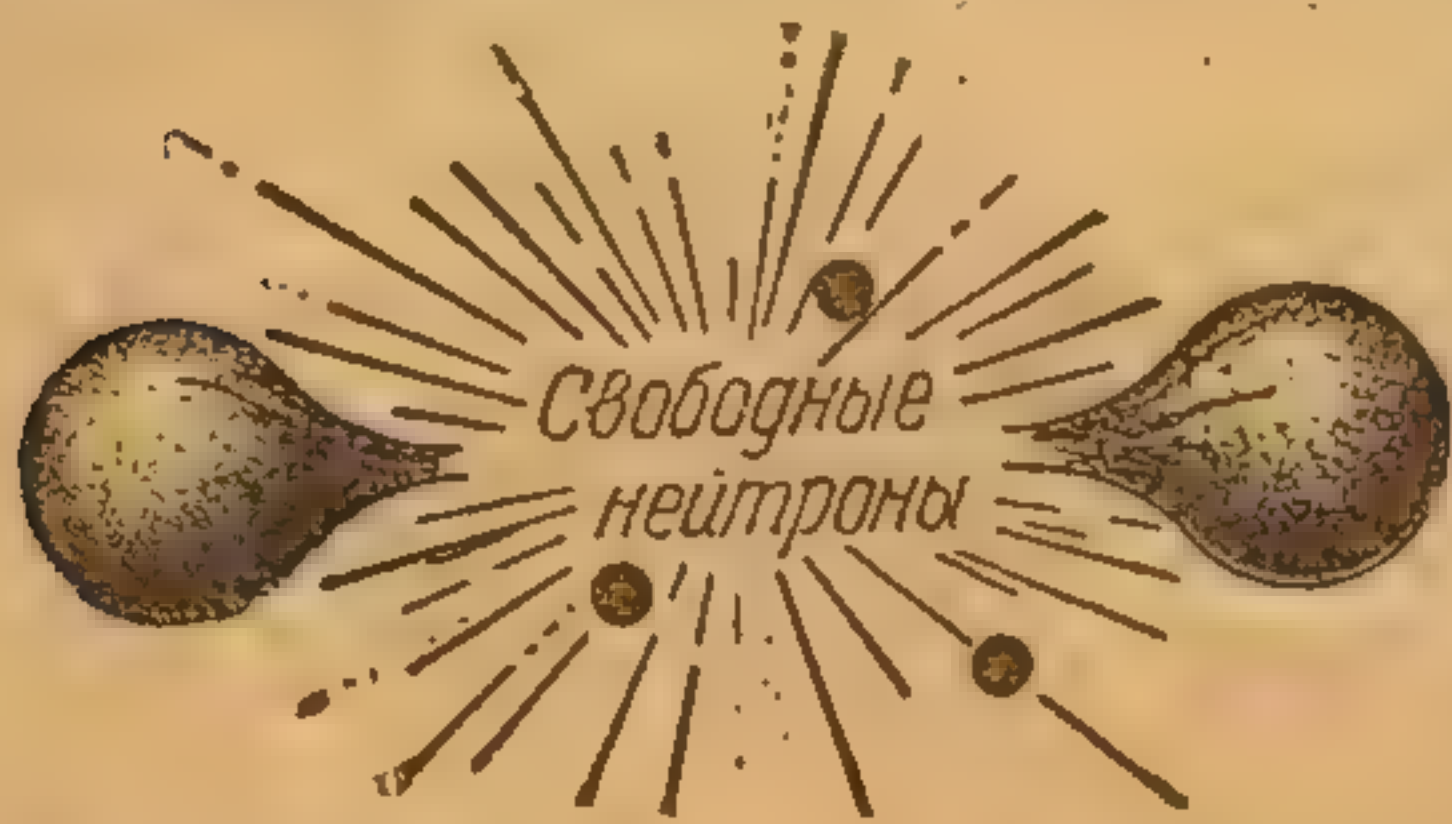


Рис. 17. При делении ядра урана несколько нейтронов испускаются в свободном виде

вают деление новых ядер урана (как показано на рис. 18), число разложенных ядер будет все время возрастать, и в конце концов все вещество разделится. Чтобы высвободить ядерную энергию, нужна именно такая цепная ядерная реакция.

Например, если взять кусок урана определенного размера, то нейтрон, попавший в ядро, вызывает его деление, что сопровождается образованием осколков и появлением двух, скажем, нейтронов. Эти два нейтрона,

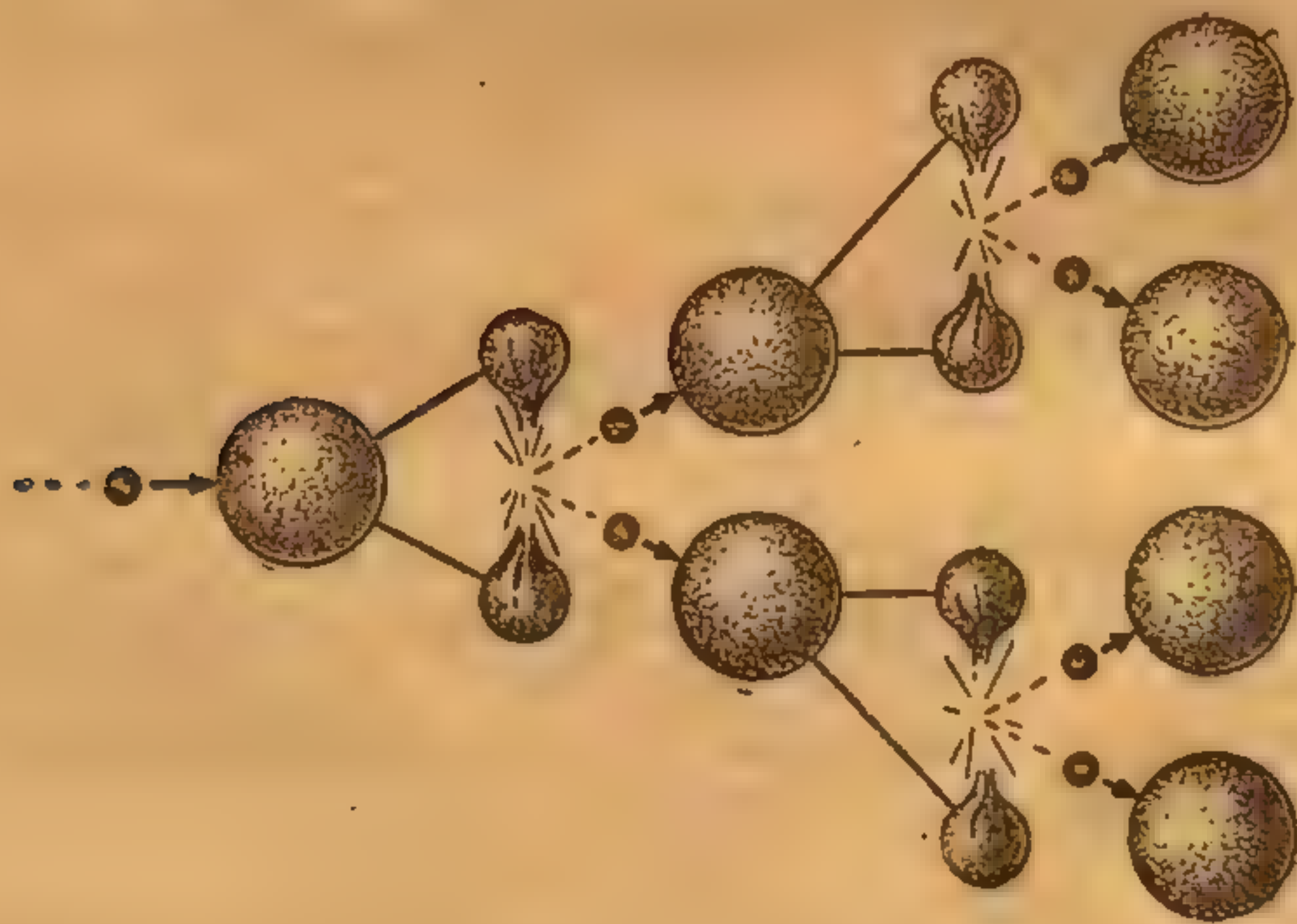


Рис. 18. Принципиальная схема цепной ядерной реакции

вызвав деление других ядер атомов урана, дают уже четыре нейтрона и т. д. При такой цепной реакции, нарастающей без внешнего воздействия, число разделившихся

ядер будет все время лавинообразно возрастать, и в конце концов все вещество разложится. В результате такого разложения вещества высвобождается атомная энергия. Эта энергия ядерного превращения может быть использована так же, как энергия угля или нефти, получаемая при их сжигании.

Естественно, что не все освободившиеся нейтроны будут вызывать деление последующих ядер. Часть из них улетает за пределы ку-

ска урана, не вызывая деления, как это видно из рис. 19. Поэтому цепные ядерные реакции могут протекать с различными скоростями. Скорость цепной ядерной реакции зависит от числа новых делений ядер атомов, вызванных нейтронами разделившегося ядра.

Если из трех нейтронов, появившихся в результате деления ядра, лишь один вызывает деление последующего ядра, то цепная реакция будет

протекать с постоянной скоростью. Если же число новых делений меньше или больше одного, то в первом случае цепная ядерная реакция затухает, а во втором она будет протекать с возрастающей скоростью и приведет к взрыву.

Цепная ядерная реакция может осуществиться лишь тогда, когда размер куска урана-235 будет больше определенного, называемого критическим. Происходит это потому, что нейтроны, достигая краев куска урана, выходят из него и не производят дальнейшего деления ядер.

Следовательно, если кусок урана слишком мал, то цепная реакция невозможна. Для того чтобы развивалась цепная реакция в куске урана, его надо взять в таком объеме, в котором число возникающих нейтронов по крайней мере было бы больше числа нейтронов, уходящих из него. Такой объем, представленный на рис. 20, называется критическим.

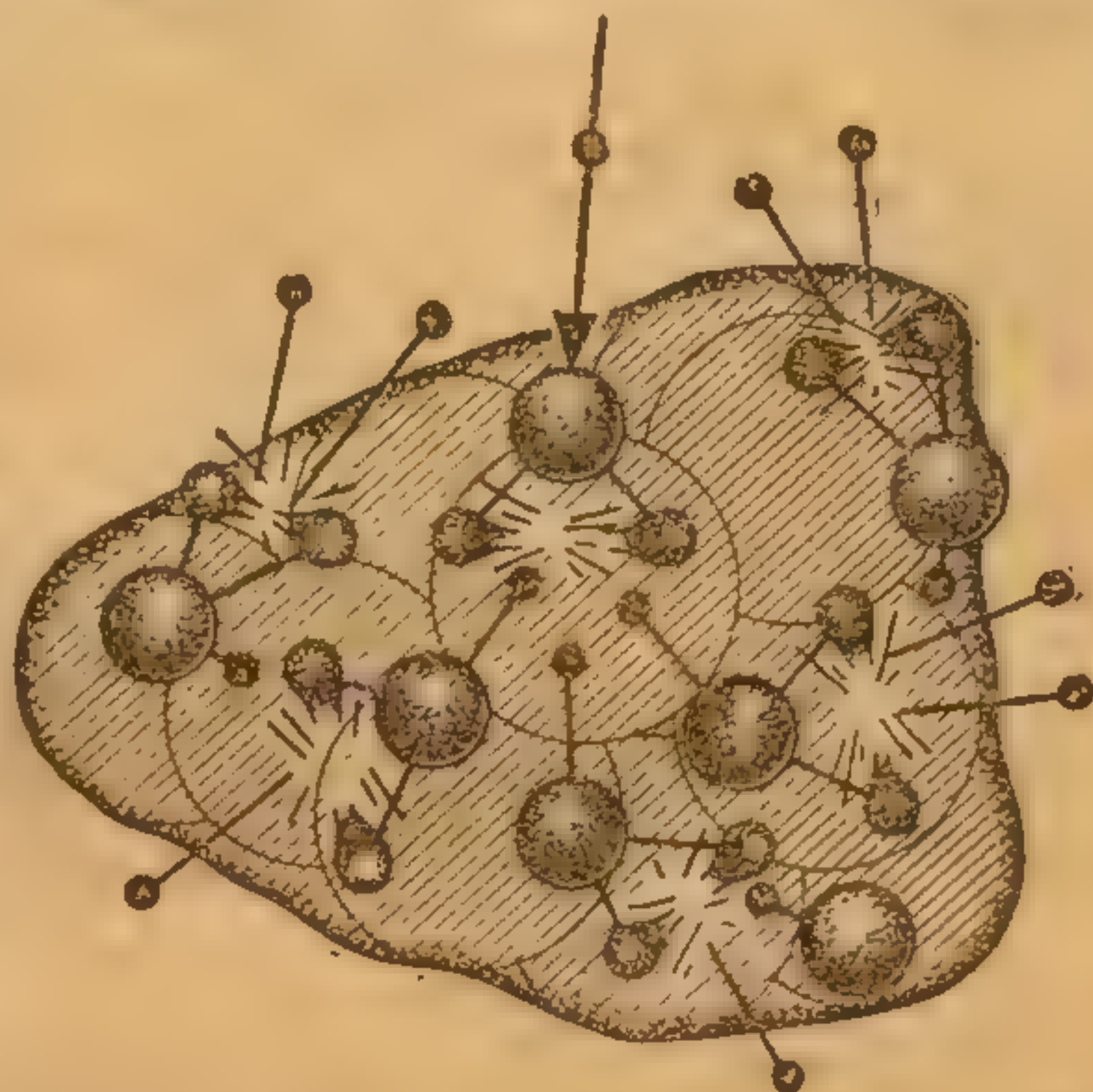


Рис. 19. При малом объеме делящегося вещества большая доля нейтронов вылетает за его пределы

Способность ядер атомов тяжелых элементов делиться под воздействием нейтронов зависит от энергии последних. Например, ядра атомов урана-233, урана-235 и плутония-239 способны делиться под воздействием нейтронов, обладающих любой энергией больше нуля. Ядро же атома урана-238 делится только нейтроном, энергия которого больше 1 мегаэлектрон-вольта.

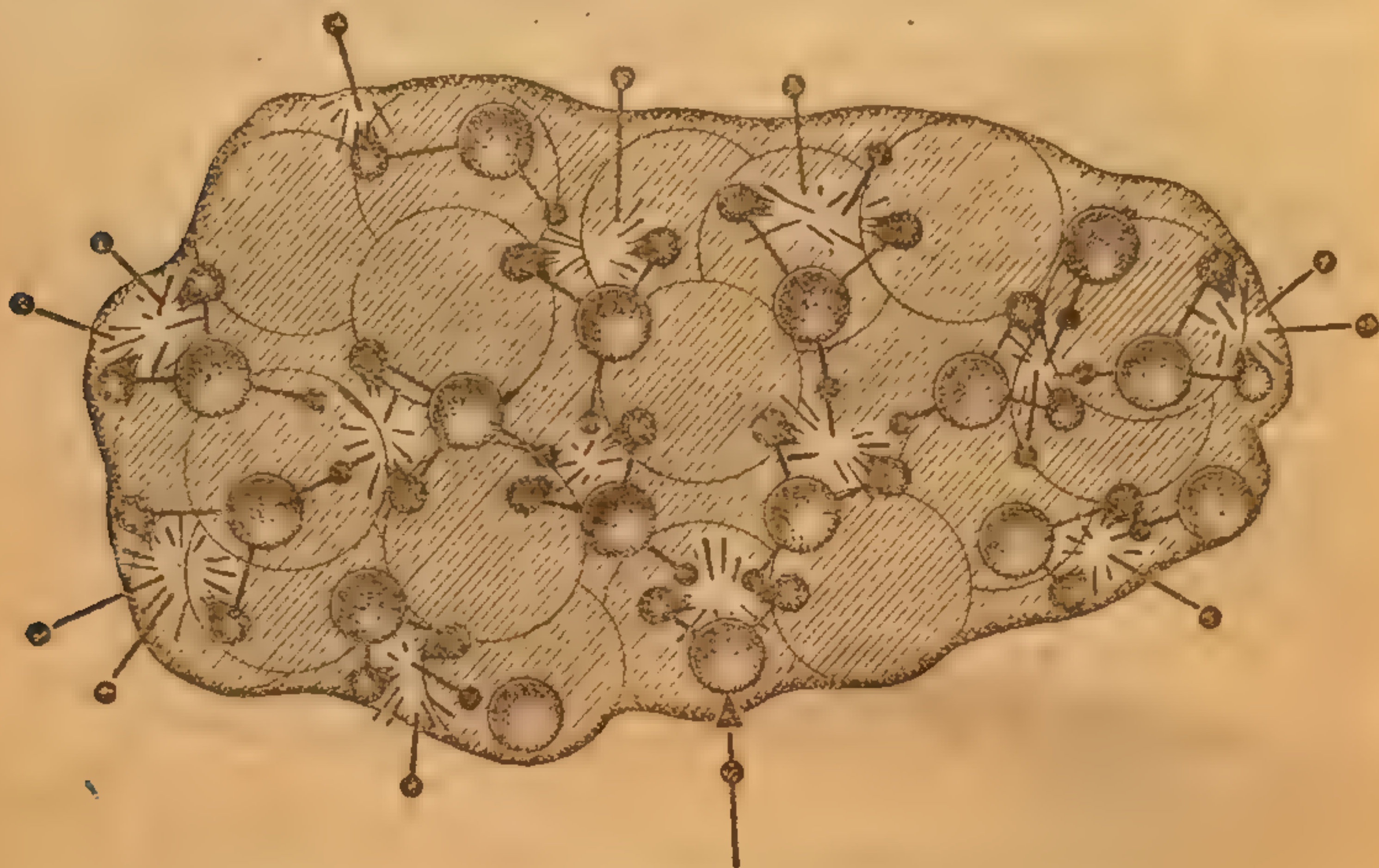


Рис. 20. Критическая масса делящегося вещества.

Не все нейтроны, испускаемые при делении ядер тяжелых элементов, имеют одинаковую скорость, а следовательно, и энергию. Средняя начальная энергия этих нейтронов достигает величины, равной 2 мегаэлектрон-вольтам.

Наиболее распространенный изотоп урана—уран-238—не может быть использован для осуществления цепной ядерной реакции, ибо его ядра делятся под воздействием нейтронов с энергией более 1 мегаэлектрон-вольта, в то время как около 90 процентов нейтронов, освобождающихся при делении его ядер, имеют начальную энергию менее 1 мегаэлектрон-вольта.

На сегодня известны только три изотопа, которые пригодны для осуществления цепной ядерной реакции. К ним относятся: ${}_{92}\text{уран}^{233}$, ${}_{92}\text{уран}^{235}$, ${}_{94}\text{плутоний}^{239}$.

Ядра атомов этих элементов, как указывалось выше, способны делиться под воздействием нейтронов, обладающих любой энергией. Поэтому эти три вещества в настоящее время и используются в качестве «атомного горючего» для высвобождения ядерной энергии.

Реакция деления ядер атомов тяжелых элементов может развиваться медленно (этот процесс происходит в

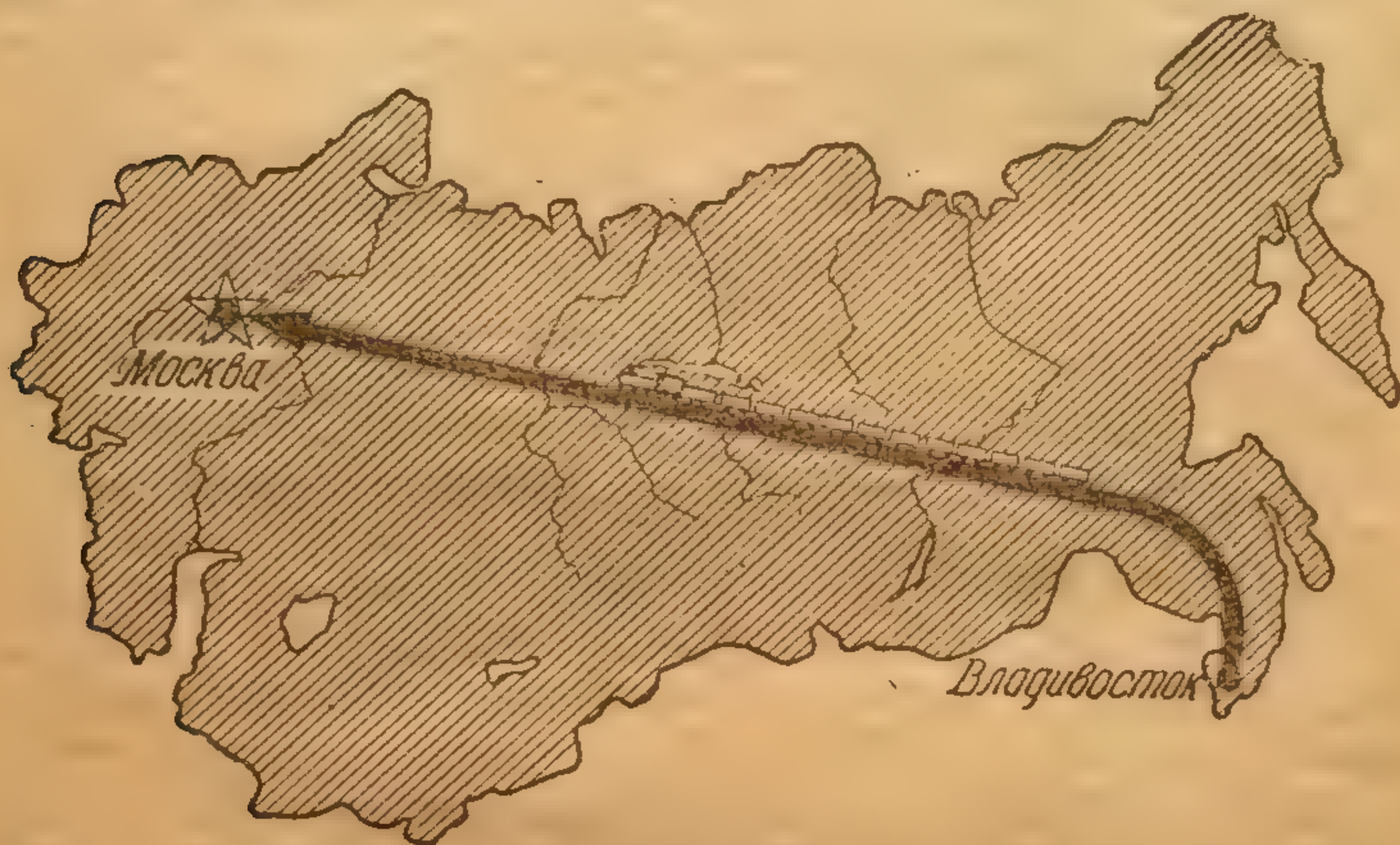


Рис. 21. Энергии, высвобождаемой при делении ядер атомов 500 граммов урана, достаточно, чтобы поезд прошел расстояние от Владивостока до Москвы

урановых котлах, о которых будет идти речь далее) и быстро (взрывная реакция в атомных бомбах). В обоих случаях выделяется колоссальная энергия. При делении ядер всех атомов 1 килограмма урана высвобождается энергия, равная примерно 20 000 000 000 больших калорий. Такое же количество энергии можно получить при взрыве 20 000 тонн тротила или при сжигании примерно 2500 тонн каменного угля. Для того чтобы представить себе такое огромное количество ядерной энергии, заключенное в очень небольшом объеме вещества, можно еще привести такой пример. Энергии, высвобождаемой при делении ядер атомов 500 граммов урана, достаточно для того, чтобы поезд прошел расстояние от Владивостока до Москвы (рис. 21).

Термоядерная реакция

Мы рассмотрели уже получение внутриядерной энергии при делении ядер атомов тяжелых элементов. Но ядерную энергию можно получить и путем соединения (синтеза) ядер легких элементов. Принцип реакции синтеза атомных ядер и положен в основу создания водородной бомбы.

Высвобождение внутриядерной энергии в этом случае происходит следующим образом. Рассмотрим этот про-



Рис. 22. Схема изотопов водорода

цесс на примере образования ядра легкого элемента — гелия.

Ядро атома гелия, состоящее из двух протонов и двух нейтронов, можно образовать из ядер двух изотопов водорода — тяжелого водорода (${}^2_1\text{D}$) и сверхтяжелого (${}^3_1\text{T}$), строение которых показано на рис. 22. Сближаясь, ядра дейтерия и трития попадают в сферу действия мощных сил ядерного притяжения. Эти силы связывают два нейтрона и два протона в устойчивую систему, представляющую собой ядро атома гелия. При этом один лишний нейтрон выбрасывается с огромной скоростью. В процессе образования ядра гелия ядерные силы совершают значительную работу, которая затрачивается на увеличение кинетической энергии взаимодействующих частиц. Избыточная энергия, возникшая за счет ядерных сил, отдается в окружающую среду путем выбрасывания нейтрона, а также посредством излучения, подобно тому, как отдает свою энергию остывающее тело. При термоядерных реакциях выделяется энергия примерно в 10 раз большая, чем при реакциях деления ядер тяжелых элементов (на единицу реагирующего вещества).

Необходимо, однако, указать на важную особенность реакции соединения легких ядер. Цепная реакция деления ядер тяжелых элементов, медленно развивающаяся с регулируемой скоростью (в урановых котлах) или с мгновенной скоростью, приводящей к взрыву (в атомной бомбе), начинается при обычных нормальных условиях и не требует повышения температуры или давления. Реакция же соединения ядер легких элементов может протекать только при очень высоких температурах, измеряемых миллионами и даже десятками миллионов градусов. Это обусловлено тем, что только при таких сверхвысоких температурах движение частиц (в частности ядер) становится настолько быстрым, что обеспечивает сильные взаимные удары ядер, при которых возможно непосредственное соединение их. Таким образом, здесь имеет значение предварительное сильное нагревание вещества. Погречески теплота обозначается словом «термос». Вот почему эти реакции получили название **термоядерных**, т. е. реакций, протекающих при очень высоких температурах. Высокие температуры нужны для того, чтобы обеспечить большие скорости движения ядер реагирующих веществ, например дейтерия и трития, необходимые для преодоления огромных сил электрического отталкивания между ними.

Отсюда и вытекает первая особенность термоядерных реакций, заключающаяся в том, что единственным известным источником получения указанных сверхвысоких температур на земле может быть только взрыв атомной бомбы. Поэтому обязательной составной частью, например, водородной бомбы, основанной на использовании термоядерной реакции, является атомная бомба.

Вторая особенность термоядерных реакций состоит в том, что энергия при взрыве водородной бомбы выделяется мгновенно. Осуществить регулирующую термоядерную реакцию, протекающую медленно, подобно цепной реакции деления ядер тяжелых элементов в урановых котлах, пока еще не удастся.

Определение количества внутриатомной энергии, высвобождаемой при ядерных превращениях

В предыдущих разделах мы рассмотрели способы получения внутриядерной энергии и убедились в том, что заключенная в ядре атома энергия значительно превы-

шает химическую энергию, получаемую при сжигании угля, торфа и других видов топлива.

Но как определить количество атомной энергии, высвобождаемой при ядерных превращениях?

Основой энергетических расчетов современной ядерной физики является закон взаимосвязи между массой и энергией. По этому закону можно, не имея достаточных знаний о природе ядерных сил сцепления, определить внутриядерную энергию. Эти энергетические расчеты основаны на следующем.

Как указывалось, ядро любого атома (за исключением атома легкого водорода) состоит из нескольких протонов и нейтронов. Ранее уже отмечалось, что количество протонов и нейтронов, находящихся в ядре атома, определяет его вес. Иными словами, масса ядра атома определяется так называемым массовым числом, представляющим собой сумму протонов и нейтронов в ядре. Следовательно, зная массу протона и нейтрона, отдельно взятых, а также общее их количество в ядре, можно определить его общую массу. Очевидно, масса ядра любого элемента определится, как сумма масс нуклонов (протонов и нейтронов), его составляющих.

Однако, как установлено опытами, масса ядра любого атома всегда меньше суммы масс отдельных нуклонов, образовавших данное ядро, на некоторую величину Δm .

Покажем это на примере ядра гелия⁴, в состав которого входит 2 протона и 2 нейтрона.

Сумма масс протонов и нейтронов, образующих ядро гелия, вычисленная описанным выше способом, составит:
 $2 \times 1,0076 + 2 \times 1,0089 = 4,033$ атомной единицы массы (а. е. м.).

В действительности же масса ядра гелия, определенная опытным путем, равна 4,003 а.е.м., т. е. на 0,03 атомной единицы меньше. Эта потеря массы и получила название **дефекта массы**.

Чем же объяснить потерю массы при образовании атомных ядер?

Из физики известно, что каждому изменению массы должно отвечать соответствующее изменение энергии. А как указывалось в начале этого раздела, в основе всех энергетических расчетов современной физики лежит

закон взаимосвязи массы и энергии любой системы (тела). Этот закон записывается так:

$$E = m \cdot c^2,$$

где E — энергия в эргах¹,

m — масса в граммах,

c — скорость света в см/сек (равная $3 \cdot 10^{10}$).

При образовании ядер атомов всех химических элементов происходит заметное изменение массы, связанное с выделением огромного количества энергии. Действительно, в приведенном примере дефект массы при образовании ядра гелия составляет 0,03 атомной единицы массы. При образовании же одного граммотома² гелия (граммотом гелия весит 4 грамма) дефект массы составляет 0,03 грамма.

Согласно приведенному выше уравнению взаимосвязи массы и энергии эта потеря массы соответствует выделению атомной энергии, равной $0,03 \times (3 \times 10^{10})^2 = 2,7 \times 10^{19}$ эргов $= 6,5 \times 10^8$ больших калорий тепла.

Большая ли это энергия? Да, очень большая. Такую энергию Днепрогэс может дать в течение часа.

Энергия, выделяющаяся при образовании одного ядра данного химического элемента из протонов и нейтронов, получила название энергии связи ядра, или энергии образования ядра. Например, энергия связи ядра гелия составляет 28 мегаэлектрон-вольт³ и представляет собой так называемую полную энергию связи ядра E . Для расчетов, однако, необходимо знать так называемую среднюю энергию связи $\frac{E}{A}$, т. е. энергию связи ядра, приходящуюся на один нуклон. Следовательно, для ядра гелия, состоящего из четырех нуклонов, эта средняя энергия связи составит $\frac{28}{4} = 7$ мэв.

Описанным выше способом, очевидно, можно вычислить полную и среднюю энергию связи ядер всех химических элементов, имеющих различный атомный вес.

¹ Эрг — работа силы в 1 дину на пути в 1 см. Дина — сила, которая, действуя на массу в 1 грамм, сообщает ей ускорение, равное 1 см/сек², 1 эрг $= 2,3892 \times 10^{-11}$ больших калорий.

² Грамматомом называется количество вещества, вес которого в граммах численно равен атомному весу элемента.

³ 1 мэв (мегаэлектрон-вольт) $= 1,6 \times 10^{-6}$ эргов,

Вычисленные таким способом средние энергии связи ядер всех элементов можно, как это примерно показано на рис. 23, нанести на график. На этом графике по горизонтальной оси отложено массовое число A , а по вертикальной оси — средняя энергия связи ядра $\frac{E}{A}$ в мегаэлектрон-вольтах (мэв).

Из графика следует, что максимальное значение средней энергии связи $\frac{E}{A} = 8,6$ мэв обнаруживается у ядер атомов химических элементов, занимающих среднее место

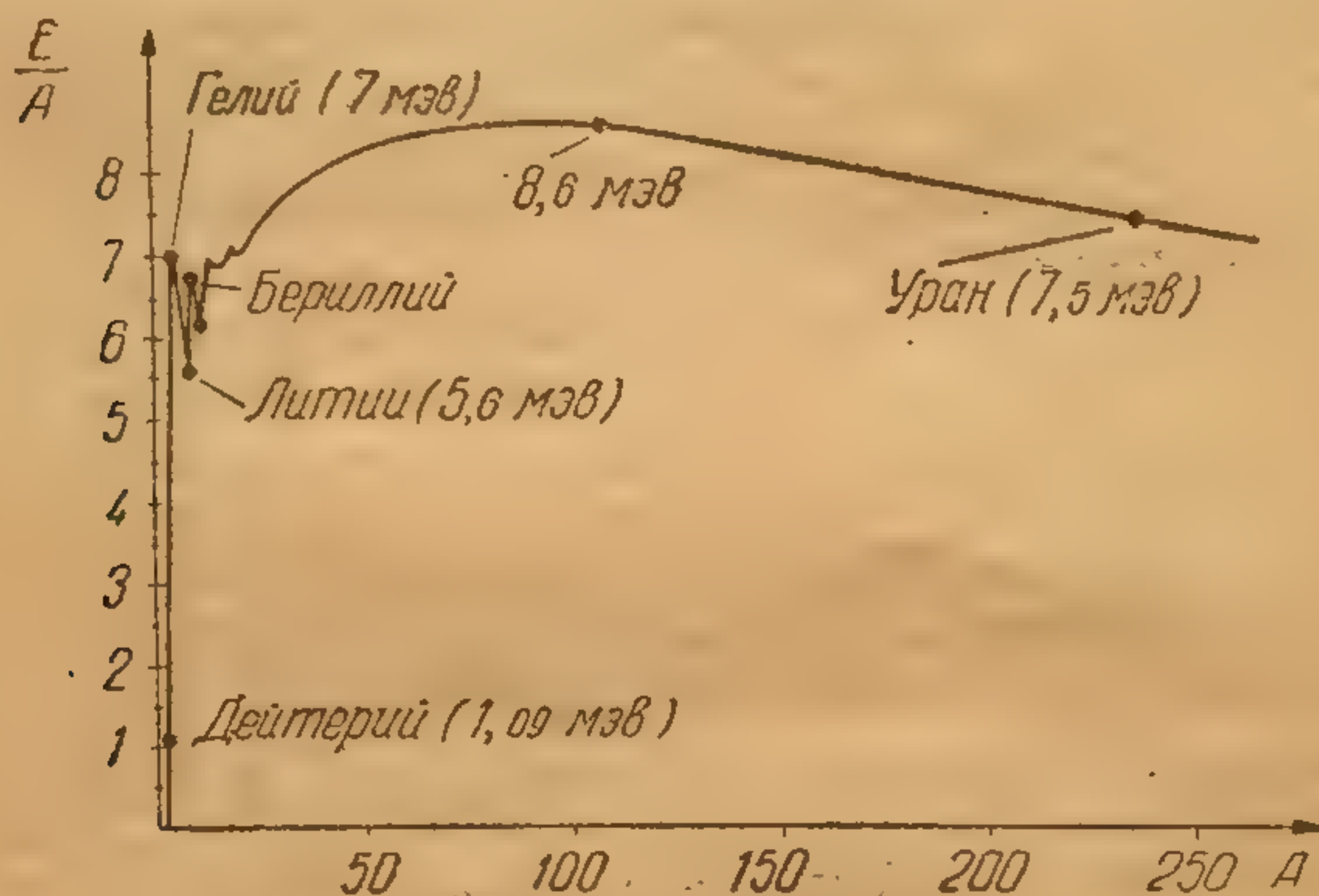


Рис. 23. Кривая энергии связи

в таблице Менделеева. Энергия связи ядра урана, приходящаяся на один нуклон, составляет примерно 7,5 мэв.

Приведенный график средней энергии связи ядер имеет исключительно большое значение. Он указывает на возможные пути высвобождения внутриядерной энергии, а именно: путь деления тяжелых ядер на более легкие и путь соединения (синтеза) легких ядер. Действительно, согласно закону сохранения энергии при делении ядра на более легкие части (осколки) также должна высвободиться энергия связи. Высвободившаяся таким путем энергия будет равна разности энергии связи конечных и исходных ядер.

Приведем два примера определения ядерной энергии с помощью этого графика.

Пример 1. Образование ядра гелия при соединении двух ядер дейтерия.

Полная энергия связи ядра гелия, состоящего из четырех нуклонов, составляет $4 \times 7 = 28$ мэв.

Полная энергия связи ядра дейтерия, состоящего из двух нуклонов, равна $2 \times 1,09 = 2,18$ мэв. Следовательно, при образовании ядра гелия из двух ядер дейтерия высвободится энергия, равная разности полной энергии связи ядра гелия и удвоенной полной энергии связи ядра дейтерия, т. е. $28 - 2 \times 2,18 = 23,64$ мэв.

Вычислим значение энергии при образовании не одного ядра, а всех ядер одного килограмма гелия.

В граммотоме ${}^4_2\text{гелия}$ (4 грамма), как известно, содержится $6,02 \times 10^{23}$ (число Авогадро) атомов гелия.

В 1000 граммах гелия содержится $\frac{6,02 \times 10^{23} \times 1000}{4} = 1,505 \times 10^{26}$ атомов. Поэтому при образовании 1 кг гелия из ядер дейтерия высвободится ядерная энергия, равная $1,505 \times 10^{26} \times 23,64 = 35,6 \times 10^{26}$ мэв $= 1,36 \times 10^{14}$ калорий¹. Для получения такого количества энергии нужно сжечь, например, около 13 600 тонн бензина.

Пример 2. Деление тяжелого ядра урана-238 на две равные части (осколки). Если принять, что ядро урана-238 разделилось на две равные части, то, следовательно, атомный вес каждого из осколков (т. е. более легких ядер) будет равен $\frac{238}{2} = 119$ а. е. м. Из графика

на рис. 23 следует, что средняя энергия связи ядра с атомным весом 119 будет составлять величину порядка 8,6 мэв. Полная же энергия связи ядра урана-238, состоящего из 238 нуклонов, будет равна $238 \times 7,5 = 1785$ мэв.

Поэтому при делении одного ядра урана-238 на два равных осколка высвободится ядерная энергия, равная разности удвоенной энергии связи осколка и полной энергии связи ядра урана-238, т. е. $2 \times 1023,4 - 1785 \approx 262$ мэв.

Когда же разделятся ядра всех атомов 1 кг урана-238, то выделится энергия, равная примерно $1,96 \cdot 10^{13}$ ка-

¹ 1 мэв $= 3,827 \times 10^{-14}$ калорий.

лорий. Этого тепла достаточно, чтобы вскипятить примерно 200 000 тонн воды. Эту же энергию можно получить при сжигании около 1800 тонн бензина.

Максимальное количество энергии получается при термоядерных реакциях. Количество энергии, выделяемой при ядерных реакциях (радиоактивный распад ядер, деление ядер тяжелых элементов, соединение ядер легких элементов), в миллионы раз больше количества энергии, получаемой при химических реакциях (горении, взрыве и др.).

А
кото
Как
пути
актив
лах)
ления
тов).
Со
оруж
радио
А
испол
щейся
оруж
объект
людей.
В
вия мо
бомб.
крупно
ракет,
ных бес
Втор
ные ве
пригото
держаш
примене
вредного
чения на
предназн

II. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В ВОЕННЫХ ЦЕЛЯХ

Атомное и термоядерное оружие

Атомным оружием называется такое оружие, действие которого основано на использовании атомной энергии. Как отмечалось ранее, в настоящее время известно два пути высвобождения атомной энергии: медленно (радиоактивный распад ядер и деление ядер в урановых котлах) и мгновенно (цепная взрывная ядерная реакция деления ядер тяжелых элементов и синтеза легких элементов).

Соответственно этому и различают два вида атомного оружия: атомное оружие взрывного действия и боевые радиоактивные вещества (сокращенно БРВ).

Атомное оружие взрывного действия основано на использовании атомной энергии, мгновенно выделяющейся в результате реакции взрывного характера. Это оружие предназначается для разрушения различных объектов, уничтожения боевой техники и поражения людей.

В настоящее время атомное оружие взрывного действия может применяться в виде атомных и водородных бомб. Кроме этого, оно может применяться также в виде крупнокалиберных атомных артиллерийских снарядов, ракет, торпед и самолетов-снарядов, т. е. в виде различных беспилотных средств.

Второй вид атомного оружия — боевые радиоактивные вещества (БРВ) — представляют собой специально приготовленные для боевого использования вещества, содержащие радиоактивные атомы. На чем же основано их применение? Их применение основано на использовании вредного биологического действия радиоактивного излучения на живые организмы. Соответственно этому они и предназначаются для заражения местности и воздуха

с целью поражения людей. Они могут применяться в виде растворов или порошков. Такими боевыми радиоактивными веществами могут снаряжаться обычные авиационные бомбы, а также ракеты, мины, артиллерийские снаряды и другие.

Так как атомная энергия, высвобождающаяся при цепной взрывной реакции, примерно в 10 000 000 раз больше химической энергии, выделяющейся, скажем, при взрыве тротила, то, следовательно, мощность атомной бомбы несравненно больше мощности самой крупной авиационной фугасной бомбы, снаряженной тротилом.

Мощность атомных бомб принято характеризовать тротиловым эквивалентом. **Тротиловый эквивалент** — это такой вес тротилового заряда, энергия при взрыве которого равна энергии взрыва данной атомной бомбы.

В настоящее время известны атомные бомбы с тротиловым эквивалентом примерно 20 000 тонн. Сделать атомные бомбы значительно меньшего калибра в настоящее время не представляется возможным, ибо в маленьком куске урана цепная взрывная реакция не идет. Сделать атомные бомбы значительно большего калибра, чем существующие в настоящее время, нецелесообразно по следующим причинам. Цепная взрывная реакция протекает практически мгновенно. Однако, строго говоря, она длится в течение вполне определенного промежутка времени. Поэтому, как только начинается цепная реакция, т. е. как только разделится небольшая часть ядер атомов урана или плутония, уже высвободится значительная энергия. А это, как известно, приводит к мгновенному повышению температуры и давления в зоне ядерной реакции, т. е. в куске атомного заряда. Поэтому этот заряд начинает механически дробиться и разлетаться во все стороны. С другой стороны, вследствие большой температуры уже в начале реакции имеет место обычное испарение атомного заряда.

В результате этого не все атомное горючее успевает прореагировать, т. е. не все ядра атомов, скажем, одного килограмма урана успевают разделиться. Представим себе, что в атомной бомбе успевает прореагировать примерно 10% веса всего заряда. Следовательно, если заряд атомной бомбы составляет 1 килограмм, то 900 граммов вещества — урана или плутония — испаряются и разлетаются без высвобождения ядерной энергии.

К атомному оружию взрывного действия относятся также водородные бомбы. Верхний предел калибра водородной бомбы не ограничен. Водородная бомба может быть сделана очень большого калибра. Ее тротиловый эквивалент составляет (для существующих водородных бомб) сотни тысяч и даже миллионы тонн тротила.

Принцип устройства атомных и водородных бомб

Взрыв атомной бомбы может быть осуществлен только в том случае, если имеется достаточное количество так называемого делящегося вещества, т. е. урана или плутония. Наименьшее количество такого делящегося вещества, при котором возможна взрывная цепная ядерная реакция, называется критической массой. Величина критической массы заряда атомной бомбы зависит от многих факторов, основными из которых являются: форма заряда, материал и конструкция оболочки и другие факторы.

Действительно, почему цепная взрывная реакция не протекает в куске урана или плутония меньше определенной величины?

Это объясняется тем, что с уменьшением количества делящегося вещества увеличивается относительная (на единицу массы вещества) величина его поверхности. Вследствие этого доля нейтронов, которые вылетают за пределы куска заряда урана, увеличивается. Эти нейтроны не вызывают деления ядер атомов урана.

Далее, размер и вес критической массы уменьшится, если применить плотную оболочку, способную отражать вылетающие нейтроны и возвращать их в зону ядерной реакции.

Следовательно, если масса делящегося вещества будет больше критической, то деление любого ядра дает начало взрывной ядерной реакции. Но что нужно для того, чтобы вызвать деление хотя бы одного ядра? Ранее уже отмечалось, что такая реакция может начаться под действием нейтронов, испускаемых при самопроизвольном делении ядер урана, или под действием нейтронов, испускаемых каким-либо нейтронным источником, или, наконец, нейтроном космического происхождения.

Рассмотрим устройство атомной, а затем водородной бомбы.

Основными элементами атомной бомбы являются: заряд, оболочка и так называемое взрывающее устройство (рис. 24).

Заряд атомной бомбы состоит из плутония или урана-233 или урана-235. Причем масса его должна быть несколько больше критической. До момента взрыва заряд в бомбе должен быть разделен на несколько частей (на рис. 24 критическая масса разделена на две части), каж-

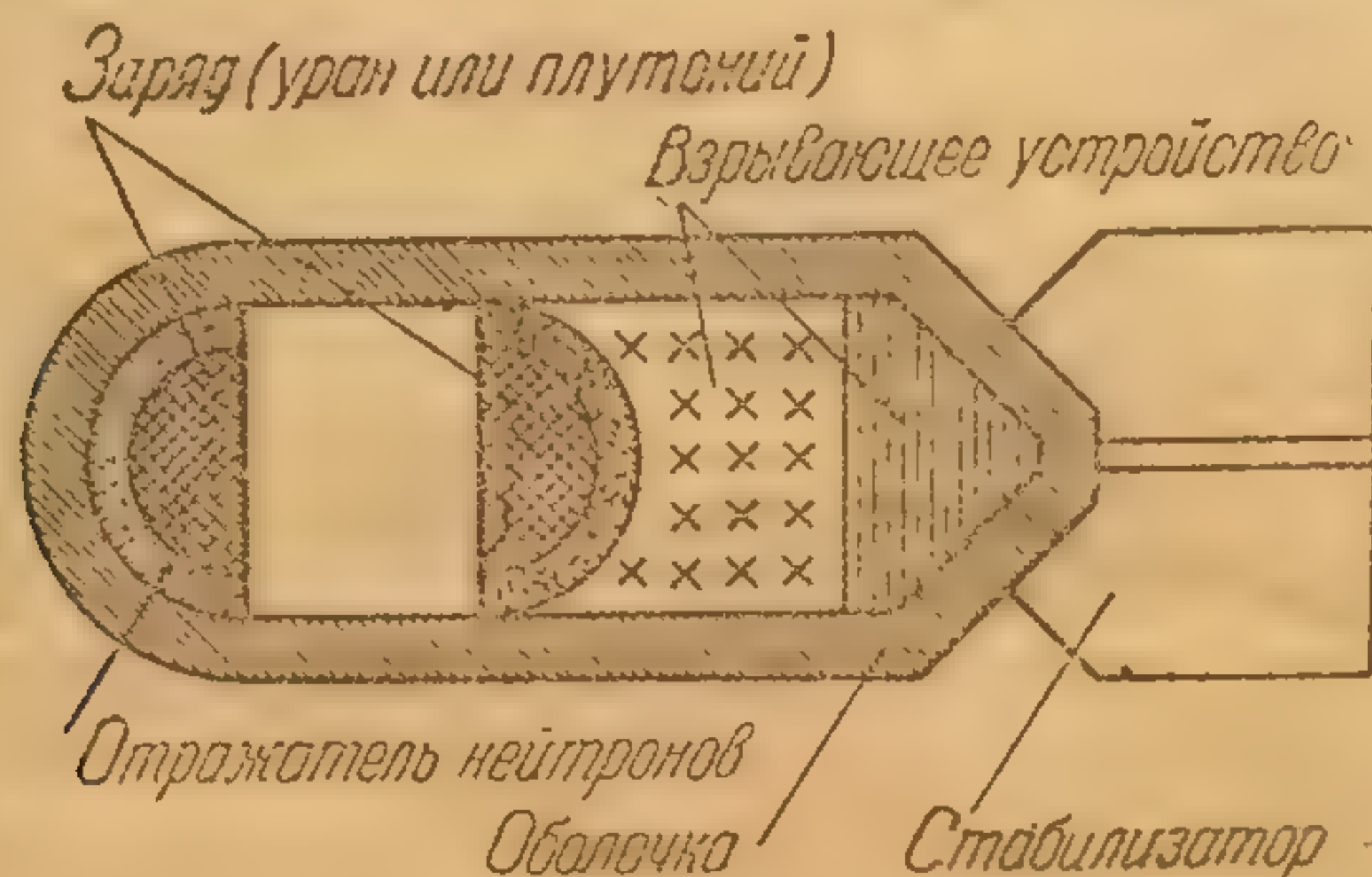


Рис. 24. Принципиальная схема устройства атомной бомбы

дая из которых меньше критической. Поэтому при таком расположении заряда взрывная реакция не может произойти, ибо большая часть нейтронов вылетает за пределы заряда, не производя деления ядер.

На рис. 24 заряд атомной бомбы (т. е. вся критическая масса урана или плутония) первоначально разделен на две декритические половинки. Однако можно себе представить схемы устройства зарядов атомных бомб, у которых заряд первоначально разделен на три, четыре и большее количество частей.

Оболочка бомбы нужна для того, чтобы смонтировать в ней все детали бомбы и чтобы отразить часть нейтронов, вылетающих за пределы делящегося вещества и вернуть их снова в зону ядерной реакции.

Наконец, назначение взрывающего устройства, состоящего из взрывателя и взрывчатого вещества, состоит в том, чтобы в нужный момент сблизить отдельные части заряда и образовать одну компактную и плотную массу заряда несколько больше критической. В момент соединения отдельных частей, т. е. половинок атомного заряда,

нейтрон, попавший в ядро урана, вызовет его деление, а образовавшиеся в результате деления ядра новые нейтроны вызовут деление последующих ядер и т. д. Так произойдет взрывная цепная ядерная реакция, т. е. атомный взрыв. Для того чтобы произошел взрыв атомной бомбы, заряд которой первоначально разделен на отдельные части, в нужный момент эти отдельные части заряда с помощью взрывающего устройства соединяются в одну компактную массу, в которой и протекает цепная ядерная реакция взрывного характера.

Аналогичное устройство имеют и водородные бомбы. Схема водородной бомбы представлена на рис. 25. Водородные бомбы, как

указывалось ранее, основаны на использовании атомной энергии, мгновенно выделяющейся при термоядерных реакциях. Иными словами, для того чтобы высвободить ядерную энергию при образовании ядер легких

элементов, например ядра гелия из ядер изотопов водорода — дейтерия и трития, нужно предварительно сообщить очень большие скорости ядрам дейтерия и трития. А это возможно только в случае создания температуры порядка сотен тысяч или миллионов градусов. Такие сверхвысокие температуры в наземных условиях могут быть получены только одним, известным в настоящее время, путем — взрывом атомной бомбы.

Поэтому атомная, точнее урановая или плутониевая, бомба является как бы детонатором водородной бомбы.

Устройство водородной бомбы можно представить следующим (рис. 25). Имеется запас водородного горючего, содержащего тяжелый и сверхтяжелый водород (т. е. дейтерий и тритий). Вблизи него находятся два удаленных друг от друга полушария из урана или плутония (заряд атомной бомбы).

Для сближения этих полушарий используются заряды из обычного взрывчатого вещества (тротила). Взрывая одновременно заряды из тротила, мы тем самым сбли-



Рис. 25. Принципиальная схема устройства водородной бомбы

жаем полушария. В момент их соединения происходит взрыв атомной бомбы. Тем самым будут созданы условия для протекания термоядерной реакции, а следовательно, произойдет взрыв и водородной бомбы.

Внешний вид и форма атомной и водородной бомб напоминает обычные авиационные бомбы крупных калибров.

Внешняя картина взрыва атомной бомбы

Взрыв атомной бомбы сопровождается выделением колоссальной энергии в очень короткий промежуток времени. Для того чтобы сравнить взрыв атомной бомбы со взрывом обычной авиационной бомбы, укажем на некоторые характеристики этих взрывов.

Взрыв обычной авиационной бомбы протекает за время, равное сотым и даже тысячным долям секунды. Давление в зоне взрыва в этом случае первоначально достигает примерно 300 000 атмосфер, а температура, развиваемая при взрыве обычных бомб, достигает величины, равной 3500—4000° С.

Взрыв же атомной бомбы длится гораздо меньшее время — всего несколько миллионных долей секунды — и сопровождается повышением температуры в зоне взрывной ядерной реакции до миллионов и даже нескольких десятков миллионов градусов. Максимальное же давление в зоне ядерной реакции достигает величины миллиардов или нескольких десятков миллиардов атмосфер.

В результате такого сравнения мы видим, что взрыв атомной, а следовательно, и водородной бомб является непревзойденным по мощности источником выделения колоссальной энергии. Далее мы будем говорить о взрыве только атомных (урановых или плутониевых) бомб. Это же будет относиться и к взрыву водородных бомб.

Взрыв атомной бомбы может быть произведен или на некоторой высоте над поверхностью земли (или воды) или же под землей (или водой).

Соответственно этому следует различать следующие виды взрывов атомных бомб:

а) воздушный (несколько сот метров над землей или водой);

б) наземный или надводный (несколько десятков метров над землей или водой);

в) подземный или подводный.



Рис. 56. Облако грибовидной формы через несколько минут после взрыва атомной бомбы над землей



Рис. 27. Туманный купол, возникший при подводном взрыве. Видны корабли-мишени

Рассмотрим внешнюю картину взрыва атомной бомбы над землей. В момент атомного взрыва наблюдается ослепительно яркая вспышка, озаряющая небо и землю на расстояние до сотни километров и сопровождающаяся резким звуком, напоминающим грозовой разряд, который слышен на несколько десятков километров. Сразу же после вспышки при воздушном взрыве появляется **огненный шар** (или полушарие — при наземном взрыве), также видимый в течение нескольких секунд на очень большом расстоянии.

Огненный шар быстро поднимается вверх и, остывая, превращается в клубящееся облако.

Одновременно с земли поднимается столб пыли и дыма, вследствие чего образуется облако характерной **грибовидной формы** (рис. 26). Это облако достигает большой высоты: за несколько минут оно поднимается на высоту до 15 км. Далее облако уносится ветром и постепенно рассеивается.

Взрыв атомной бомбы под водой сопровождается следующими признаками. Вначале на поверхности воды в месте взрыва видно ярко светящееся пятно. Затем над поверхностью воды образуется купол (рис. 27), который вырождается в столб водяных брызг (рис. 28, 29).

Этот столб водяных брызг поднимается на высоту до двух-трех километров.

Достигнув такой высоты, столб водяных брызг начинает разрушаться, в результате чего образуется так называемая **базисная волна**, похожая на кольцевое облако высотой в несколько сот метров (до 300 м) и состоящая в основном из водяной пыли (брызг).

Внешняя картина подземного атомного взрыва зависит от глубины, на которой он происходит. Если атомная бомба взрывается на небольшой глубине от поверхности земли, то внешняя картина атомного взрыва мало отличается от внешней картины наземного атомного взрыва.

К особенностям подземного атомного взрыва следует отнести: образование значительной воронки, выброс большого количества грунта на расстояние до нескольких километров и сильное радиоактивное заражение местности.

Итак, при атомном взрыве выделяется огромное количество энергии. Вследствие этого температура в зоне взрыва достигает миллионов градусов. Такая высокая температура приводит к образованию огненного шара,



Рис. 28. Столб водяных брызг при подводном атомном взрыве



Рис. 29. Столб воды и облако взрыва. На горизонте видны корабли-мишени



Рис. 28. Столб водяных брызг при подводном атомном взрыве



Рис. 29. Столб воды и облако взрыва. На горизонте видны корабли-мишени

являющегося источником очень мощного светового излучения.

Высокая температура в месте взрыва приводит также к резкому повышению давления, которое, в свою очередь, вызывает мощную ударную (взрывную) волну.

Наряду с ударной волной и световым излучением взрыв атомной бомбы сопровождается невидимым радиоактивным излучением, которое называется проникающей



Рис. 30. Схематическое изображение поражающих факторов при атомном взрыве

радиацией, состоящим из потоков нейтронов и гамма-излучения.

Облако грибовидной формы, образовавшееся в результате атомного взрыва, содержит огромное количество радиоактивных продуктов взрыва и является источником альфа-, бета- и гамма-излучения. По пути движения этого облака радиоактивные продукты выпадают на землю, в результате чего и происходит радиоактивное заражение местности и воздуха.

Итак, атомный взрыв, как схематически показано на рис. 30, сопровождается одновременным действием мощной ударной волны, светового излучения (1), проникающей радиации (2 и 3) и радиоактивным заражением местности (4).

Следовательно, в отличие от взрыва обычных бомб взрыв атомных бомб обладает комбинированным поражающим действием.

Поражающие факторы атомного оружия взрывного действия¹

Рассмотрим подробнее общую характеристику каждого поражающего фактора и его действие на различные объекты при взрыве атомной бомбы в воздухе, под водой и под землей.

Ударная волна. Основным поражающим фактором при взрыве атомной бомбы является ударная волна. На ее образование расходуется более половины общей энергии взрыва.

Что представляет собой ударная волна при воздушном атомном взрыве?

В первый момент после взрыва атомной бомбы продукты взрыва, а также раскаленный воздух вокруг заряда образуют ослепительно светящийся шар малого объема. Температура и давление внутри этого шара достигают громадных величин. На границе раздела огненного шара и окружающего воздуха получается резкий перепад температуры и давления. Продукты взрыва, ограниченные поверхностью шара, стремятся быстро расшириться. Это и является причиной образования ударной волны в воздухе.

Ударная (или взрывная) волна представляет собой область сильно сжатого воздуха и распространяется с большой сверхзвуковой скоростью во все стороны от центра взрыва. В непосредственной близости от центра взрыва эта скорость превосходит один километр в секунду, а далее — резко падает. Поэтому расстояние в 1000 метров от центра взрыва она пробегает за 2 секунды, расстояние в 2000 и 3000 метров — соответственно за 5 и 8 секунд (рис. 31).

Скорость распространения ударной воздушной волны по мере удаления от центра взрыва быстро уменьшается, а ударная волна ослабевает и в конце концов вырождается в звуковую волну.

¹ Приведенные ниже радиусы поражения атомного взрыва относятся к взрыву бомбы с тротильным эквивалентом 20 000 тонн.

Когда ударная волна доходит до какой-либо точки среды или преграды, то в этой точке скачком (практически мгновенно) давление повышается на величину ΔP , называемую избыточным давлением. Частицы воздуха

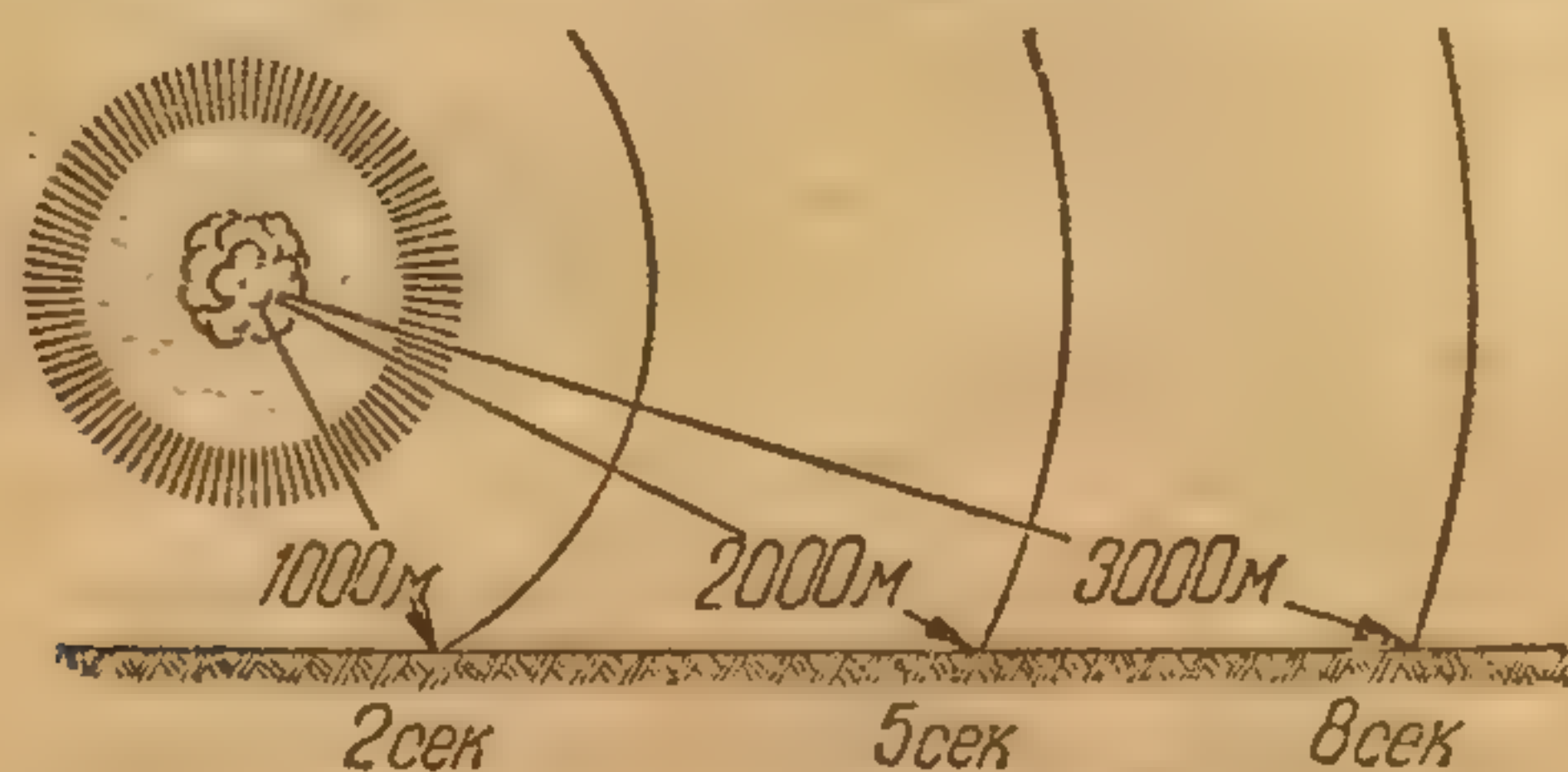


Рис. 31. Схема распространения ударной волны атомного взрыва

приобретают определенную скорость и смещаются. Далее, как это видно из графика на рис. 32, в данной точке давление падает ниже атмосферного (зона разрежения), а частицы воздуха двигаются в обратном направлении —



Рис. 32. График изменения давления в какой-либо точке среды или на поверхности преграды при действии ударной волны

к центру взрыва. Следовательно, ударная волна состоит из зоны сжатия (давление выше атмосферного) и зоны разрежения (давление ниже атмосферного).

Если рассматривать отдельно воздушный, наземный и подводный взрывы атомных бомб, то форма ударной

волны будет разной. На рис. 31 приведена картина атомного взрыва в пространстве без наличия каких-либо поверхностей, отражающих ударную волну. В этом случае ударная волна представляет собой шаровой слой сильно сжатого воздуха, расширяющийся во все стороны с очень большой скоростью.

На рис. 33 представлен взрыв атомной бомбы на некотором расстоянии от поверхности земли. В этом случае образуется падающая (основная) (1) и отраженная (2)



Рис. 33. Схема образования ударных волн при воздушном взрыве

ударные волны. Сложение падающей и отраженной волн приводит к образованию у поверхности земли головной волны (3). Головная волна сосредоточивает на узком участке своего фронта энергию, собранную с гораздо более значительного по размерам участка фронта падающей волны. Поэтому головная волна производит усиленное разрушающее действие. Этим объясняется, почему при воздушном атомном взрыве получают наибольшие радиусы поражения ударной волной наземных объектов. Например, на расстояниях до 2 километров кирпичные городские сооружения разрушаются. Люди получают смертельную контузию на расстоянии до 750 метров¹. Ударная волна способна опрокидывать автомашины, танки, срывать мосты с опор и т. д. Она способна проникать в закрытые помещения через щели и отверстия, что при-

¹ Здесь и далее радиусы поражения даны по книге „Атомная энергия“ (новые данные). Перевод с английского В. Я. Фридмана, Изд. Иностранной литературы, М., 1954.

водит к резкому повышению давления внутри помещений, к разрушению оборудования и поражению людей.

Следует иметь в виду, что поражения и разрушения могут наноситься как непосредственно самой ударной волной, так и летящими комьями земли, обломками зданий и пр. Пожары, возникающие вследствие повреждения печей, электро- и газовых сетей, могут также стать причиной поражения людей, уничтожения имущества.

Процессы формирования ударных волн при атомном и обычном взрыве очень схожи. Поэтому механическое действие этих двух взрывов можно сравнивать между собой и определять радиусы разрушения ударной волны. Зная тротильный эквивалент для атомных бомб (в среднем около 20 000 тонн тротила), а следовательно, и энергию при взрыве их, можно путем сравнения с обычными бомбами определить, во сколько же раз увеличивается радиус поражения ударной волны при взрыве атомной бомбы. Известно, что радиус разрушения ударной волны растет пропорционально кубическому корню из энергии, выделяемой при взрыве. Следовательно, если заряд тротила фугасной авиационной бомбы будет составлять 500 кг, то при взрыве ее выделится энергия, равная примерно 500×1000 больших калорий (при взрыве 1 кг тротила выделяется 1000 больших калорий). При взрыве же атомной бомбы с зарядом в 1 кг при условии, что разделилось, например, только 25% ядер атомов уранового заряда, выделится энергия, равная

$$\frac{20\,000\,000\,000}{4} = 5\,000\,000\,000 \text{ больших калорий.}$$

Отсюда вытекает, что радиус разрушения ударной волны при взрыве атомной бомбы больше радиуса разрушения при взрыве обычной бомбы в

$$\sqrt[3]{\frac{5\,000\,000\,000}{500 \times 1000}} = \sqrt[3]{10\,000}, \text{ т. е. примерно в 21,5 раза.}$$

Этот пример показывает, что если радиус разрушения ударной волны при взрыве обычной фугасной крупнокалиберной бомбы с зарядом в 500 кг тротила для некоторой группы сооружений составляет величину порядка 50 метров, то при взрыве атомной бомбы этот радиус вырастет до величины порядка 1000 метров (если разрушение определяется максимальным давлением).

Рассмотрим теперь образование ударной волны при подводном атомном взрыве.

При подводном взрыве атомной бомбы в зоне взрыва образуется так называемый газовый пузырь. Внутри этого газового пузыря находятся продукты деления заряда атомной бомбы, продукты испарившейся части заряда, не вступившей в реакцию, и продукты испарившейся оболочки бомбы. Кроме этого, в газовом пузыре будут за-

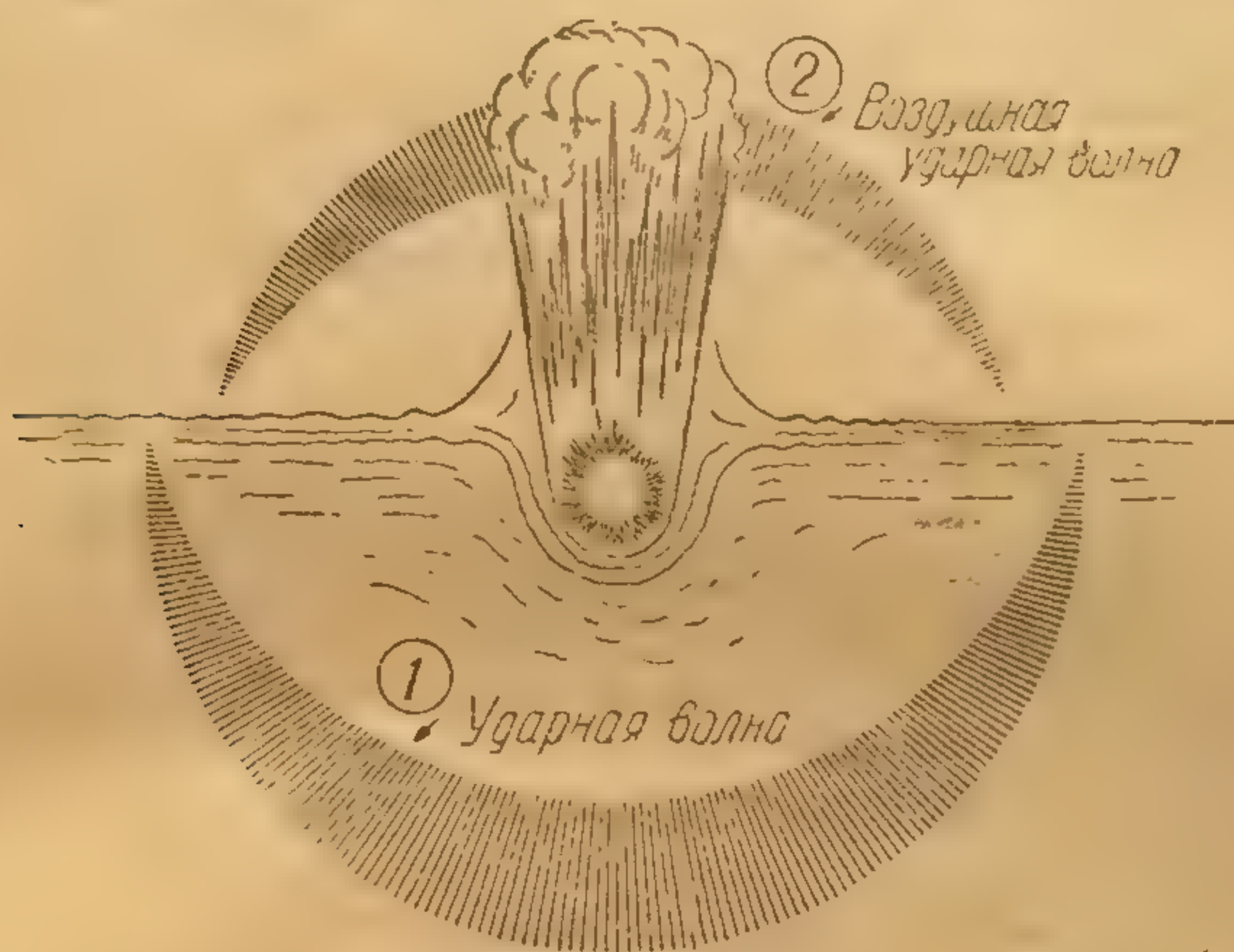


Рис. 34. Схема образования ударных волн при подводном взрыве

ключены пары и продукты разложения воды. Эти вещества, заключенные в газовом пузыре, имеют очень высокую температуру и поэтому светятся.

Первоначально давление при подводном взрыве достигает миллиардов атмосфер. А так как гидростатическое давление в окружающей газовой пузыре воде значительно меньше давления внутри газового пузыря, то последний стремится с большой скоростью расширяться, раздвигая воду. Это и является причиной образования ударной волны в воде.

Следовательно, взрыв атомных и водородных бомб в воде (рис. 34) сопровождается образованием мощной ударной волны в воде (1). При взрыве атомной бомбы на некоторой определенной глубине часть энергии расхо-

дуются на образование воздушной ударной волны (2), которая распространяется в воздухе.

Ударные волны, образованные при подводном атомном взрыве, имеют некоторые особенности. Эти особенности объясняются тем, что вода по своим физическим свойствам (по плотности, сжимаемости и др.) резко отличается от воздуха. Этим и объясняется, что при взрыве атомной бомбы под водой избыточное давление ΔP во фронте (передней границе) ударной волны в воде (на одинаковом расстоянии от места воздушного взрыва) в десятки раз больше, чем в воздухе. Время же действия повышенного давления при подводном взрыве, наоборот, в несколько раз меньше, чем при воздушном взрыве. Наконец, так как вода является средой значительно более плотной, чем воздух, то и скорость распространения ударной волны в воде больше, чем в воздухе.

Поражающее действие ударной волны при подводном взрыве изменяется в зависимости от положения центра взрыва относительно поверхности воды и дна водоема. Атомный взрыв под водой и его действие на подводные конструкции будет сильнее в том случае, когда глубина центра взрыва будет составлять несколько сотен метров. При взрыве атомной бомбы на небольшой глубине поражающее действие ударной волны в воде будет несколько меньшим, чем при взрыве на большой глубине. Это объясняется тем, что в первом случае давление в образовавшемся газовом пузыре будет спадать быстрее за счет прорыва газов в атмосферу. Кроме этого, при взрыве на небольшой глубине образующаяся при отражении от поверхности воды волна разрежения будет быстро снижать давление ударной волны в воде.

Ударная волна, образовавшаяся при подводном атомном взрыве, является основным поражающим фактором. Она способна произвести значительные механические разрушения объектов, находящихся в воде на значительных расстояниях от места взрыва. Например, надводные и подводные суда тонут в радиусе до 0,7 километра от центра взрыва, а сильные повреждения судов наблюдаются в радиусе до 1 километра. Надводные надстройки кораблей при подводном взрыве не получают сильных повреждений. Повреждения же подводной части корабля оказываются более сильными. Созданные на поверхности

воды волны не представляют значительной опасности для кораблей.

Рассмотрим последний случай—взрыв атомной бомбы на некоторой глубине под поверхностью земли.

При подземном взрыве в грунте образуется воронка огромных размеров, а также происходит сильное сотрясение грунта. Выброшенный из воронки грунт летит на значительные расстояния и сам становится поражающим фактором.

Далее, вследствие прорыва газов, образуется воздушная ударная волна, распространяющаяся в воздухе над землей. Образовавшаяся же ударная волна в грунте способна вызвать разрушения или повреждения подземных и наземных сооружений. С увеличением глубины, на которой производится атомный взрыв, при прочих равных условиях разрушительное действие ударной волны в грунте проявляется на больших расстояниях.

Световое излучение. Взрыв обычных боеприпасов сопровождается, как известно, световым излучением, которое, однако, длится кратковременно (тысячные доли секунды). Температура в месте взрыва обычных боеприпасов достигает всего лишь нескольких тысяч градусов, а облако раскаленных газов занимает малый объем. Все это объясняется тем, что при взрыве обычных боеприпасов выделяется сравнительно небольшое количество энергии. Поэтому действием светового излучения при взрыве обычных боеприпасов пренебрегают.

При атомном взрыве наблюдается совершенно иная картина. В этом случае выделяется, как известно, очень большая энергия. При воздушном взрыве атомной бомбы около одной трети общей энергии взрыва выделяется в виде светового излучения.

В результате атомного взрыва окружающая среда нагревается до температуры, достигающей нескольких десятков миллионов градусов. В результате сложных физических процессов, происходящих под действием таких сверхвысоких температур, в конечном итоге образуется огненный шар, достигающий в диаметре более 100 метров. К моменту достижения огненным шаром максимальных размеров температура на его поверхности превосходит температуру на поверхности Солнца, равную 6000° . Этот огненный шар и является источником светового излучения. В дальнейшем температура на поверхности

этого шара падает, шар превращается в бурое облако и поднимается за несколько минут, как уже отмечалось, на высоту до 15 километров, образуя облако грибовидной формы.

Световое излучение при взрыве атомной бомбы длится всего несколько секунд. Яркость огненного шара во много раз превосходит яркость солнечного света.

Поражающее действие светового излучения атомного взрыва заключается в следующем. Поверхности различных освещаемых тел поглощают световую энергию, в результате чего эти тела нагреваются. Степень нагрева этих тел зависит от многих факторов, основными из которых являются следующие: количество световой энергии, проходящей на единицу площади за все время освещения, свойств материала (способность к поглощению и отражению световой энергии, теплопроводности материала), а также размеров, точнее толщины тел.

В результате воздействия светового излучения атомного взрыва различные тела могут поглотить такое количество световой энергии, при котором температура тела повышается настолько, что его поверхность может обуглиться, оплавиться или воспламениться.

Резкое ослабление воздействия светового излучения атомного взрыва происходит при наличии в атмосфере тумана или пыли, при выпадении дождя или снега и т. д.

Вредное воздействие светового излучения может сказаться и на органах зрения. На близких расстояниях при непосредственном, прямом наблюдении атомного взрыва могут возникнуть неизлечимые повреждения сетчатки глаз. На больших расстояниях от места атомного взрыва световое излучение способно вызвать временную потерю зрения, ожоги роговицы и слизистой оболочки глаз. При этом наблюдается слезотечение, резкая светобоязнь, боль. Такое заболевание, однако, проходит через несколько дней.

Следовательно, у людей, находящихся вне укрытия, световое излучение может вызывать ожоги открытых участков тела, временное ослепление.

Степень ожогов зависит, естественно, от удаления людей от места взрыва. Сильные ожоги и обугливание открытых участков тела возможны только на близких расстояниях от места атомного взрыва (до 1100 метров). Степень ожогов закрытых участков тела зависит от ха-

рактера одежды, ее цвета, плотности и толщины. На закрытых или теневых участках тела ожогов, как правило, не наблюдается.

Световое излучение вызывает воспламенение горючих предметов, обгорание краски, обугливание и возгорание дерева, а на близких расстояниях — даже оплавление металла. В лесу, степи и населенных пунктах от светового излучения возможны пожары.

Все вышензложенное относилось к воздушному и наземному (или надводному) атомным взрывам. При подземном и подводном взрывах поражающее действие светового излучения можно не учитывать. Это объясняется тем, что световое излучение идет в этом случае на нагревание и испарение частиц воды и грунта, находящихся вблизи от места взрыва.

Проникающая радиация. Третьим поражающим фактором при атомном взрыве является проникающая радиация. Как известно, деление ядер урана, происходящее при атомном взрыве, сопровождается испусканием в окружающую среду потока нейтронов и гамма-лучей.

Этот поток нейтронов и гамма-лучей, образующийся непосредственно при атомном взрыве, уносит примерно пять процентов общей энергии, выделяющейся при взрыве атомной бомбы.

Кроме гамма-лучей, испускаемых в результате деления ядер атомов урана, образующиеся в момент взрыва радиоактивные продукты деления (осколки) испускают в окружающую среду альфа- и бета-излучения. Альфа- и бета-распад также сопровождается испусканием гамма-лучей. Существенной и характерной особенностью этого излучения является его способность проникать через значительные толщи различных преград. Поэтому поток нейтронов и гамма-лучей, сопровождающих атомный взрыв, называли проникающей радиацией.

Если ударная волна и световое излучение являются непосредственно ощущаемыми и видимыми человеком, то проникающая радиация является невидимым и неоощаемым поражающим фактором.

Рассмотрим некоторые основные свойства проникающей радиации. Остановимся вначале на свойствах гамма-излучения.

Гамма-лучи, т. е. коротковолновое электромагнитное излучение, представляют собой поток материальных ча-

стиц, называемых фотонами. При прохождении этих фотонов через вещество они вызывают ионизацию среды и рассеиваются, в результате чего поток лучей значительно уменьшается.

Проникающая способность гамма-лучей тем больше, чем меньше плотность вещества. Иными словами, легкие материалы лучше пропускают гамма-лучи, чем тяжелые. Мощные потоки гамма-лучей оказывают вредное биологическое воздействие на живые организмы.

Поток нейтронов, образующийся при атомном взрыве, представляет собой вторую часть проникающей радиации. Так как нейтроны являются электрически незаряженными частицами, то, проходя через вещество, они практически не вступают во взаимодействие с электронами, вращающимися вокруг ядер атомов и имеющими, как известно, отрицательный заряд. Но нейтроны могут взаимодействовать с ядрами атомов, теряя при этом свою энергию. Взаимодействуя с атомными ядрами, нейтроны могут или захватываться ядром или рассеиваться в результате упругого столкновения с ядром. Лучше ядром захватываются медленно летящие нейтроны. Медленные нейтроны хорошо поглощаются ядрами таких элементов, как марганец, кадмий, бор, кобальт. Под действием потока нейтронов некоторые химические элементы становятся радиоактивными. Иначе говоря, нейтронный поток вызывает искусственную, или, как говорят, наведенную, радиоактивность. Например, натрий под действием потока нейтронов становится радиоактивным. Распадаясь, он испускает бета- и гамма-лучи, превращаясь при этом в магний. Период полураспада радиоактивного натрия — 14,8 часа. Образование радиоактивного натрия опасно тем, что натрий широко распространен в природе и имеется в воде, в живых тканях, входит в состав почвы и т. д.

Другой пример. Кремний, содержащийся в большом количестве в грунтах, под воздействием потока нейтронов также превращается в радиоактивный элемент и испускает бета-лучи. Таким же образом поток нейтронов воздействует и на другие элементы — алюминий, калий, марганец, железо и др., которые, превращаясь в радиоактивные элементы, испускают бета- и гамма-лучи.

Нейтронный поток при взрыве действует доли секунды и сравнительно легко проникает не только через

слои воздуха, но и через значительные толщи других материалов. При прохождении через различные толщи материальной среды поток нейтронов ослабевает.

Таковы вкратце основные свойства проникающей радиации. При взрыве атомной бомбы действие проникающей радиации продолжается 10—15 секунд, т. е. является кратковременным (действие гамма-лучей).

Проникающая радиация оказывает вредное биологическое действие на организм незащищенного человека и животных, нарушая различные жизненные процессы в организме. От воздействия проникающей радиации у человека возможно специфическое заболевание, называемое лучевой болезнью. Основные признаки лучевой болезни следующие: повышение температуры, тошнота и желудочно-кишечные расстройства, недомогания, отсутствие аппетита, кровоточивость кожи и слизистых оболочек, выпадение волос, падение числа белых кровяных клеток.

Лучевая болезнь развивается постепенно, т. е. проявляется не сразу, а имеет скрытый период от нескольких часов и дней до нескольких недель. Степень лучевой болезни зависит от дозы проникающей радиации, полученной организмом человека. Дозы излучений обычно измеряют в специальных единицах — рентгенах. Рентген — это такое количество гамма-излучения, которое создает в одном кубическом сантиметре воздуха при нормальном давлении и температуре два миллиарда пар ионов, несущих одну электростатическую единицу заряда. Доза радиации в 100—200 рентгенов может вызвать у человека только легкое заболевание лучевой болезнью, которое, как правило, заканчивается выздоровлением. Большие дозы проникающей радиации могут вызвать лучевую болезнь тяжелой степени, которая может повлечь за собой смертельный исход (на расстоянии до 800 метров от центра взрыва).

Основной принцип лечения лучевой болезни состоит в том, чтобы поддерживать жизнь пострадавшего для восстановления нормальных функций организма.

Под воздействием проникающей радиации могут изменяться также свойства некоторых материалов. Например, под воздействием больших доз проникающей радиации стекло темнеет, фотопленка и фотобумага засвечиваются.

Таким образом, проникающая радиация (т. е. поток нейтронов и гамма-излучение, образующиеся при атомном взрыве) может вызывать поражение незащищенных людей, вызывать так называемую наведенную радиоактивность, заражать местность и отдельные предметы. Некоторые продукты питания, вода в открытых водоемах также могут оказаться зараженными под воздействием проникающей радиации, вызывающей искусственную радиоактивность химических элементов, входящих в состав этих продуктов и воды. Со временем интенсивность заражения местности, воды, отдельных предметов быстро уменьшается.

При подводном атомном взрыве почти вся проникающая радиация поглощается сравнительно небольшим слоем воды, вследствие чего она не может оказывать поражающего действия на живые организмы (в том числе и на человека), находящиеся даже на небольших расстояниях от центра взрыва. Однако вследствие воздействия проникающей радиации при подводном взрыве на различные вещества (растворенные в воде) создается искусственная радиоактивность у таких элементов, как натрий, иод, бром, калий и др., входящих в состав, скажем, морской воды. Со временем интенсивность заражения воды быстро уменьшается. Длительное пребывание людей непосредственно в районе атомного подводного взрыва (вскоре после взрыва) опасно.

Особенностью подземного и наземного атомных взрывов является сильное заражение местности, превосходящее по степени и площади заражение, наблюдаемое при воздушном взрыве. Заражение местности происходит вследствие выпадения радиоактивных продуктов взрыва и искусственной радиоактивности, вызванной действием проникающей радиации на некоторые химические элементы, входящие в состав почвы.

Радиоактивное заражение. При атомном взрыве вследствие деления ядер образуются осколки, которые представляют собой сильно ионизированные радиоактивные атомы более легких элементов. Кроме того, часть атомного заряда не успевает прореагировать и испаряется. Все эти радиоактивные элементы будут после атомного взрыва находиться первоначально в облаке грибовидной формы. По пути движения облака радиоактивные вещества, находящиеся в нем, оседают, зара-

жая местность и воздух, а также все находящиеся на местности предметы, сооружения, технику, людей.

При радиоактивном распаде продуктов деления ядер атомов заряда атомной бомбы испускаются бета-частицы и гамма-лучи. Не вступившая в реакцию и испарившаяся часть вещества заряда испускает альфа-частицы. Радиоактивное излучение, так же как гамма-лучи и поток нейтронов, является невидимым и не обладает никакими специфическими свойствами, которые позволили бы его обнаружить без применения специальных приборов.

Радиоактивные излучения, проникая через различные среды, взаимодействуют с веществом, вызывая его ионизацию. Наибольшей ионизирующей способностью обладают альфа-лучи, поэтому они поглощаются средой наиболее сильно. Например, одежда человека полностью предохраняет от альфа-излучения.

Бета-лучи, обладая меньшей ионизирующей способностью, поглощаются веществом значительно слабее.

Допустимые дозы альфа- и бета-лучей при внешнем облучении значительно больше, чем гамма-лучей, ибо они, имея небольшую проникающую способность, повреждают главным образом ткани наружного покрова человеческого тела.

Вредное биологическое действие радиоактивных веществ на организм человека и объясняется их способностью ионизировать молекулы живых тканей, в результате чего в организме происходят сложные изменения.

Наиболее тяжелые поражения человеку наносят радиоактивные вещества, попадая внутрь организма при вдыхании зараженного воздуха, пыли и при употреблении зараженных продуктов и воды. Радиоактивные вещества, попадая внутрь организма даже в незначительных количествах, вызывают поражение внутренних органов и могут также явиться причиной заболевания лучевой болезнью. Внешнее облучение альфа-лучами не вызывает лучевой болезни. Однако радиоактивные вещества, попавшие на кожу, слизистые оболочки глаз, носа и рта, могут вызвать язвы и воспаления.

Степень заражения местности при атомном взрыве зависит от нескольких факторов: от высоты взрыва над поверхностью земли (или воды), от характера местности

(лесистая, с сильным растительным покровом и т. д.) и, наконец, от метеорологических условий.

При воздушном взрыве радиоактивное заражение обычно не велико, так как в этом случае радиоактивные продукты деления находятся в образующемся облаке и уносятся им. Поэтому радиоактивные продукты деления, оседая на поверхности земли, рассеиваются на большой площади. В район взрыва в этом случае можно войти через несколько минут после взрыва, не опасаясь поражения.

При наземном и подземном взрывах атомных бомб получается значительное заражение местности, особенно в радиусе нескольких сот метров от места взрыва. Это объясняется тем, что радиоактивные вещества смешиваются с частицами грунта и быстро оседают на землю.

При подводном атомном взрыве почти все радиоактивные продукты деления остаются в воде или, поднявшись с выбрасываемой взрывом водой, вновь падают в воду. В результате этого при подводном взрыве имеет место сильное и достаточно стойкое радиоактивное заражение района взрыва.

Одной из особенностей радиоактивных веществ, образовавшихся при атомном взрыве, является быстрый спад их радиоактивности. Поэтому даже сильно зараженные участки местности или воды становятся безопасными через несколько дней.

Боевые радиоактивные вещества

Боевые радиоактивные вещества представляют собой второй вид атомного оружия, основанный на использовании вредного биологического воздействия радиоактивных веществ.

В отличие от радиоактивных веществ, получаемых при атомном взрыве, боевые радиоактивные вещества готовятся специально и могут быть применены в виде дымов, жидкости, порошков или даже в смеси с обычными боевыми отравляющими веществами. Приготовить боевые радиоактивные вещества можно следующим образом. Обычные химические элементы облучают потоком нейтронов, в результате чего и образуются искусственные радиоактивные вещества. Выбирая для облучения различные химические элементы, можно получить бое-

вые радиоактивные вещества различной интенсивности (т. е. с различным периодом полураспада). В качестве источника потока нейтронов для облучения выбранных элементов может быть использован атомный котел, при работе которого, как известно, излучается мощный поток нейтронов.

Кроме этого, в результате деления ядер атомов урана в атомном котле образуются, как известно, радиоактивные продукты, которые представляют собой отходы и могут непосредственно служить наиболее подходящими боевыми радиоактивными веществами. Наконец, снаряжение водородной бомбы металлическим кобальтом (в виде оболочки) также может создать некоторое количество боевого радиоактивного вещества — радиоактивного кобальта с периодом полураспада около пяти лет. Радиоактивный кобальт получается вследствие облучения его мощным потоком нейтронов, образующимся при термоядерной реакции, т. е. при взрыве водородной бомбы.

Боевые радиоактивные вещества могут быть альфа-бета- и гамма-активны.

В результате их применения происходит радиоактивное заражение местности и воздуха, как и при атомном взрыве, а их поражающее действие не отличается от поражающего действия радиоактивных веществ, выпадающих из облака при взрыве атомной бомбы.

Характерной особенностью боевых радиоактивных веществ, как и радиоактивных продуктов атомного взрыва, является то, что они могут не иметь специфического запаха или специфического цвета и других внешних признаков, свойственных многим боевым отравляющим веществам. Поэтому обнаружить их можно только с помощью специальных так называемых дозиметрических приборов.

Так как интенсивность излучения радиоактивных веществ уменьшается со временем, то накопленные боевые радиоактивные вещества также будут терять свои боевые качества.

* * *

Выше мы рассмотрели действие урановых и плутониевых бомб и их поражающие факторы.

Действие водородной бомбы по существу является аналогичным. Различие заключается в том, что радиусы

поражения при взрыве водородной бомбы будут большими, чем при взрыве урановой или плутониевой бомбы. Важным отличием взрыва водородной бомбы является и то, что в этом случае образуется большое количество нейтронов, что может привести к большей вероятности образования искусственных радиоактивных элементов, находящихся в почве и воде, а следовательно, и большему остаточному заражению местности.

Радиусы разрушения ударной волной, как известно, пропорциональны кубическому корню из энергии, выделяемой при взрыве. Поэтому, если представить себе водородную бомбу в 1000 раз более мощную, чем урановая или плутониевая, то радиус поражения такой бомбы ударной волной увеличится в 10 раз $\left(\sqrt[3]{1000}\right)$. Следовательно, если радиус поражения ударной волны при взрыве урановой бомбы равен одному километру, то при взрыве в 1000 раз более мощной водородной бомбы этот радиус поражения ударной волны будет равен примерно 10 километрам.

Хотя атомное оружие по своему поражающему действию значительно превосходит обычные виды оружия, но и от него имеются простые и надежные средства и способы защиты.

Основы противоатомной защиты

Агрессивные силы империалистических государств, стремящиеся развязать новую войну, угрожают миру применением атомного и водородного оружия. Они пытаются запугать народы, забывая, что это оружие опасно и для них.

Мы всегда готовы ответить еще более мощным ударом на удар поджигателей войны. Важное значение в условиях возможного применения агрессорами атомного оружия приобретает противоатомная защита.

Атомное оружие, являясь более мощным, чем обычные виды оружия, обладает, как уже отмечалось ранее, комбинированным поражающим действием. Поэтому и защита от его воздействия значительно усложняется. В условиях возможного атомного нападения противоатомная защита должна включать защиту от ударной

волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения. Защита от этих поражающих факторов атомного взрыва усложняется также и тем, что они все обладают большими и примерно равными радиусами поражения. С другой стороны, такие поражающие факторы, как проникающая радиация и радиоактивное заражение местности, действуют не только непосредственно в момент атомного взрыва, но и сохраняют свое поражающее действие в течение определенного промежутка времени после взрыва.

Поэтому противоатомная защита должна включать в себя мероприятия по защите непосредственно в момент атомного взрыва, а также мероприятия по предупреждению поражения после взрыва атомной бомбы.

Рассмотрим отдельно защиту от каждого поражающего фактора атомного взрыва и в первую очередь от основного поражающего фактора — ударной волны.

Защита от действия ударной волны. Основным средством защиты людей от поражающего действия ударной волны атомного взрыва являются оборонительные сооружения: убежища, окопы, траншеи, блиндажи. Самыми надежными убежищами являются подземные. Сюда относятся: специальные бомбоубежища, подземные выработки шахт, подвалы прочных зданий, подземные склады и тоннели. Защитой от действия ударной волны являются различные карьеры, канавы, насыпи, складки местности, а также различные местные прочные предметы, строения, бугры, а в горах — пещеры и различные подземные выработки.

Лучшими защитными свойствами от действия ударной волны обладают траншеи и щели, перекрытые бревнами или жердями и засыпанные сверху землей (общая толщина покрытия которых не менее 50 сантиметров), а вертикальные крутости укреплены досками, жердями, плетнями и другими средствами.

Покрытия траншей, окопов и щелей меньше подвергаются воздействию ударной волны, если они резко не выделяются на местности и имеют обтекаемую форму.

В зимних условиях перекрытия щелей и траншей легко выполнить из снега, если над участком траншей устроить покрытие в виде свода из фанеры, хвороста и других средств. Такой свод поливают водой, а образу-

щийся после этого лед. засыпают снегом и утрамбовывают.

Лучшими являются убежища с прочными покрытиями и стенами, над которыми имеется слой грунта более 80 сантиметров. Входы в убежища, щели, траншеи желательно оборудовать прочными щитами.

Защита от действия светового излучения. Воздействие светового излучения на человека можно ослабить или исключить полностью. Самой надежной защитой от светового излучения являются искусственные сооружения — убежища, окопы, траншеи, щели и прочее. Иначе говоря, все искусственные защитные сооружения от действия ударной волны, выполненные с перекрытием, полностью защищают от действия светового излучения.

Для защиты от светового излучения могут быть использованы также неровности почвы, кустарник, лес и прочее. Любая непрозрачная преграда, защищающая от прямого действия света, полностью исключает ожоги.

При защите от воздействия атомного взрыва следует иметь в виду, что различные наземные сооружения или преграды могут защитить от светового излучения, но они, с другой стороны, могут быть разрушены действием ударной волны. Поэтому выбирать защиту от светового излучения нужно с большой осторожностью.

Хорошей защитой от светового излучения для человека, находящегося вне укрытия, могут служить различные невоспламеняющиеся накидки. Обычная одежда человека также оказывает защитное действие. Лучшими защитными свойствами обладает одежда белого или светлого цвета.

Световое излучение на близких расстояниях вызывает воспламенение возгораемых материалов. Однако открытые деревянные части оборонительных сооружений, обмазанные глиной или землей (входы в убежище, окопы, щели), как известно, обладают хорошей сопротивляемостью возгоранию. Деревянная одежда крутостей окопов, траншей и щелей, выполненная с разрывами через 5—6 метров, препятствует распространению пожара.

Если вокруг оборонительных сооружений легкие деревянные постройки и заборы снесены, а воспламеняющиеся предметы (хворост, хвоя, сухая трава и прочее) убраны, то такие оборонительные сооружения будут безопасны в пожарном отношении.

Защита от проникающей радиации. Защита от воздействия проникающей радиации (потока гамма-лучей и нейтронов) является одной из более сложных, что объясняется ее свойством проникать через значительные толщи различных преград. Поэтому следует иметь в виду, что создать индивидуальные средства защиты от проникающей радиации в виде каких-либо специальных костюмов или накидок в этом случае очень трудно.

Надежной защитой человека и в этом случае являются различные инженерные сооружения: бомбоубежища, щели, траншеи, окопы и т. д.

Одним из обязательных требований к этим сооружениям является наличие верхнего перекрытия необходимой толщины для ослабления действия проникающей радиации.

Известно, что действие радиации значительно ослабляется при прохождении через различные преграды. Например, в два раза снижает дозу радиации слой грунта в 14 сантиметров, 6 сантиметров брони снижают дозу радиации в пять раз, 60 сантиметров бетона или один метр грунта — в 100 раз, 40 сантиметров дерева или один метр снега — примерно в четыре раза.

Как известно, проникающая радиация вызывает искусственную радиоактивность некоторых химических элементов, входящих в состав продуктов питания и других веществ. Однако, если продукты питания хранятся в различных надежных убежищах или в специальной таре, то в этом случае значительно ослабляется действие радиации и этим самым исключается возможное радиоактивное заражение этих продуктов. Во всех случаях перед употреблением продуктов питания, подвергшихся воздействию радиации, рекомендуется произвести дозиметрический контроль их с помощью дозиметрических приборов. Может оказаться, что заражение продуктов настолько велико, что они становятся непригодными и их следует уничтожить, ибо в этом случае они сами становятся источником бета- и гамма-излучения.

Защита от радиоактивных веществ. Местность и все находящиеся на ней предметы: имущество, сооружения и пр., а также люди, находящиеся вне укрытия, могут быть заражены радиоактивными веществами, непосредственно оседающими на землю из облака атомного взрыва или образующимися в результате воздействия

проникающей радиации. Защитой от такого радиоактивного заражения могут служить все закрытые убежища, рассмотренные уже нами.

Правда, для полной защиты от радиоактивных веществ, находящихся в воздухе, необходимо, чтобы эти убежища были герметичны и снабжены специальными фильтрами.

Кроме того, от действия радиоактивных веществ возможны также и индивидуальные средства защиты. Причем в этом случае необходима, с одной стороны, защита от попадания радиоактивных веществ внутрь организма, с другой — защита от заражения поверхности тела. В первом случае надежной защитой является обычный противогаз. Во втором случае защитой может служить одежда, скажем, из плотной хлопчатобумажной ткани, например комбинезон. Для целей защиты наиболее подходящим в этом случае является использование специальных индивидуальных средств противохимической защиты: противогаз, защитный костюм, накидка (или плащ-палатка), чулки и перчатки.

Перечисленные средства противохимической защиты предохраняют, с одной стороны, от заражения радиоактивными веществами открытые участки тела, одежду и обувь, а с другой, — от светового излучения.

Для защиты органов дыхания можно использовать также марлю, носовой платок, полотенце и пр., закрыв ими нос и рот. Для предохранения обуви можно использовать мешковину, рогожу, ветошь и другие.

Продукты питания, находящиеся в закрытых помещениях, убежищах или в хорошей таре, например в коробках, или завернутые в 2—3 слоя плотной бумаги или ткани, не подвергаются заражению радиоактивными веществами, оседающими на землю из облака атомного взрыва.

Так как поражение организма зависит от величины полученной им дозы, то сокращение времени пребывания в зараженном районе и быстрое преодоление зараженного участка местности значительно ослабляют поражение радиоактивными веществами.

Рассмотрим такой пример. Уровень излучения радиоактивных веществ на зараженном участке характеризуется мощностью дозы, которая измеряется в рентгенах в час. Зная мощность дозы и время пребывания на зара-

женном участке, можно определить величину дозы, полученную, скажем, человеком, находившимся на этом зараженном участке. На рис. 35 приведена зависимость величины дозы, получаемой от времени пребывания на зараженном участке, для различных уровней радиации (10 и 100 рентгенов в час).

Так, если мощность дозы составляет 10 рентгенов в час, то при пребывании на зараженном участке в течение 30 минут человек получает дозу в 5 рентгенов.

При уровне радиации 100 рентгенов в час за те же 30 минут человек получит дозу 50 рентгенов, что является предельно безопасной дозой однократного облучения. Пребывая на этом же участке в течение часа, человек получит дозу 100 рентгенов.

Чтобы предохранить себя от поражения радиоактивными веществами, необходимо:

- быстро преодолеть зараженный участок местности;

- не садиться и не ложиться без надобности.

При необходимости залечь надо использовать специальную подстилку или подстилку из подручных средств или окопаться, снимая верхний зараженный слой земли. Землю следует отбрасывать в подветренную сторону, стараясь не запылить себя;

- не брать никаких посторонних предметов и не прикасаться к ним; не пить, не есть, не курить.

После выхода из зараженного участка местности снимать защитные средства нужно в определенном порядке и с соблюдением также правил. Так, для этого надо стать лицом против ветра и сбросить накидку, а затем снять защитные средства обуви. И только после этого можно снять противогаз.

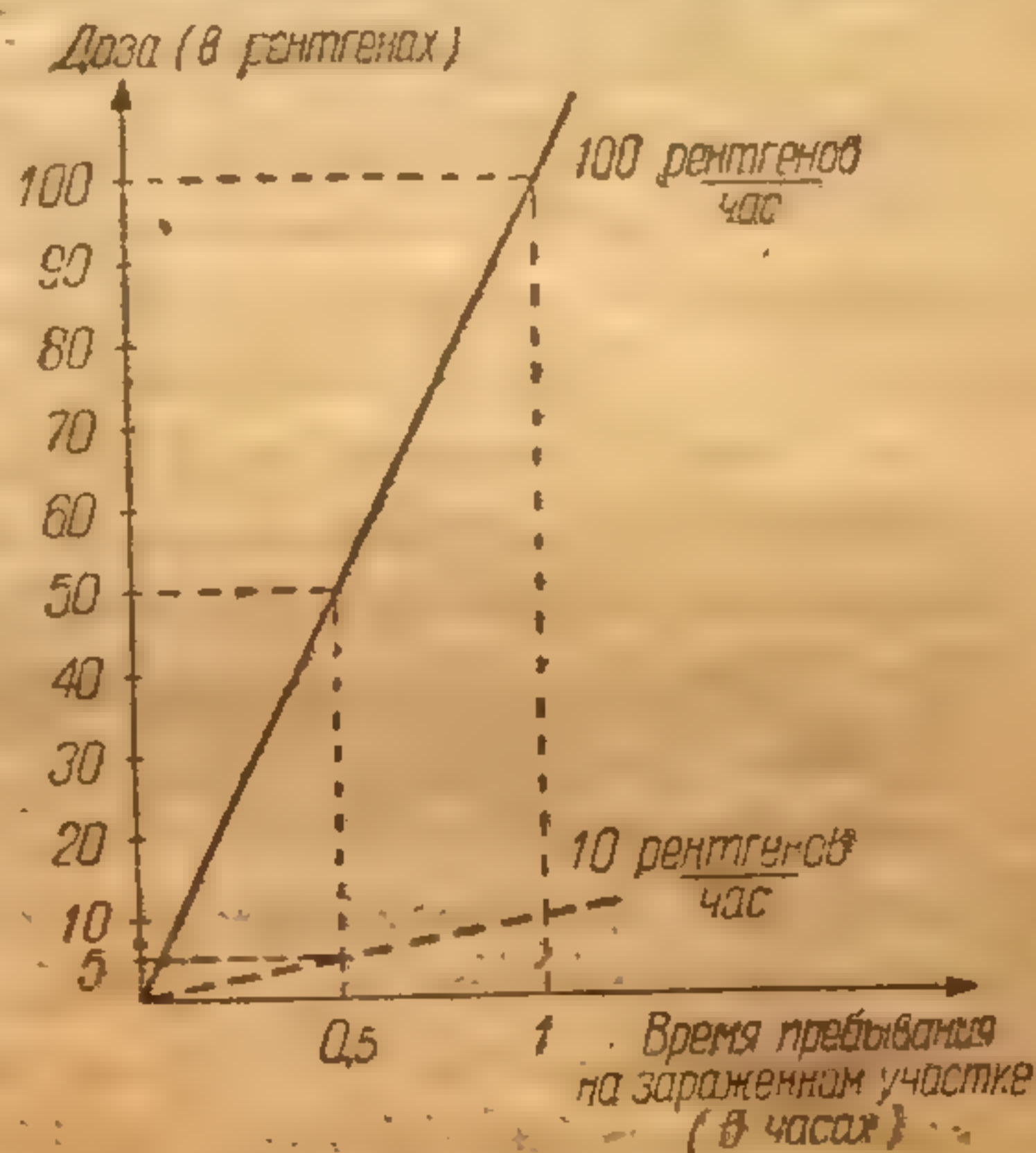


Рис. 35. График зависимости полученной дозы облучения от времени пребывания на зараженном участке

Последний из рассмотренных нами поражающих факторов атомного взрыва — радиоактивное заражение — отличается от остальных поражающих факторов следующими особенностями. В то время как ударная волна, световое излучение и проникающая радиация действуют в момент атомного взрыва и в течение короткого промежутка времени после взрыва, радиоактивное заражение может сохранять свое поражающее действие и после взрыва в течение нескольких суток. Поэтому для предупреждения возможного поражения живых организмов и в первую очередь человека необходимо как-то обезвредить действие радиоактивных веществ, т. е. удалить их с поверхности земли, с предметов, имущества, продуктов питания и других объектов.

Процесс удаления радиоактивных веществ с поверхности открытых участков тела и со слизистых оболочек глаз, носа и рта называют санитарной обработкой, а с поверхности различных предметов и объектов — дезактивацией.

Приостановить или ускорить радиоактивный распад практически невозможно. Распадающиеся химические элементы можно перенести лишь в другое место. Поэтому процесс обеззараживания не похож на процесс, например, дегазации, применяемый при заражении местности химическими отравляющими веществами, когда отравляющие вещества разрушаются химическим путем.

Санитарная обработка и дезактивация могут производиться только путем механического удаления радиоактивных веществ с поверхности предметов или открытых участков тела. Надежным методом удаления этих веществ с поверхности различных частей тела является обмывание водой с мылом, а с одежды — чистка или вытряхивание.

Когда же можно отказаться от пользования зараженными предметами или от пребывания в зараженном районе, следует использовать свойства самопроизвольного распада, ибо интенсивность излучений радиоактивных веществ, образуемых при атомном взрыве, со временем быстро уменьшается.

III. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В МИРНЫХ ЦЕЛЯХ

Использование атомной энергии радиоактивного распада ядер

В предыдущем разделе мы рассмотрели вопросы применения атомной энергии в военных целях. Рассмотрим теперь высвобождение атомной энергии и ее практическое применение в мирных целях при радиоактивном распаде ядер атомов.

Как указывалось, в результате радиоактивного распада ядер атомов химических элементов происходит испускание альфа- и бета-частиц и гамма-квантов, движущихся в окружающей ядро среде с колоссальными скоростями.

Следовательно, при радиоактивном распаде происходит высвобождение внутриядерной энергии, превращение ее в кинетическую энергию вылетающих из ядра частиц или же в энергию испускаемого ядром гамма-излучения.

Какое же количество атомной энергии выделяется при радиоактивном распаде ядер?

Рассмотрим это на примере радия. Один грамм радия выделяет в час около 140 малых калорий тепла (1 большая калория = 1000 малым калориям). Когда распдутся ядра всех атомов, заключенных в одном грамме радия (этот процесс очень длительный), то выделится энергия, равная 2 800 000 000 малых калорий. С помощью этой энергии груз весом около 1200 тонн можно поднять на высоту 1000 метров.

Однако естественная радиоактивность как источник энергии практически не может быть использована. Во-первых, естественная радиоактивность наблюдается лишь у дорогих и редко встречающихся в природе элементов, как, например, у радия. Содержание радия в рудах ничтожно. В тонне обычной горной породы имеется одна мил-

лиардная доля грамма радия. Выделение радия из руды требует огромной затраты сил, средств и времени. Во всех лабораториях земного шара хранится всего лишь около 1 килограмма радия.

Второй причиной, затрудняющей использование радиоактивных элементов в качестве источника энергии, является неуправляемость процесса радиоактивного распада. Распад ядер радиоактивных атомов у разных элементов протекает с различными скоростями и характеризуется, как известно, периодом полураспада. Период полураспада радия составляет 1590 лет.

Хотя энергия, выделяемая при распаде всех атомов одного грамма радия, равняется энергии, получаемой от сгорания примерно 500 килограммов угля, использовать ее чрезвычайно трудно. К тому же стоимость 500 килограммов угля несравненно меньше стоимости одного грамма радия. Но и это не все. Имеется еще одна трудность. Энергия угля может быть использована по нашему желанию в короткие или более длительные сроки. Энергия же радия выделяется самопроизвольно в течение нескольких тысяч лет и не зависит от воздействия человека.

Нагревание радия до очень высоких и охлаждение до очень низких температур, действие на него высокого давления, электрических или магнитных полей не ускоряют процесса распада радия и выделения энергии.

Для использования энергетических ресурсов радиоактивных элементов необходимо было научиться управлять процессом радиоактивного распада, осуществить искусственную радиоактивность, т. е. сделать радиоактивными обычные химические элементы. Многочисленные поиски привели французских ученых Фредерика Жолио-Кюри и его жену Ирен к открытию в 1934 году искусственной радиоактивности.

Открытие искусственной радиоактивности позволило получить радиоактивные изотопы всех химических элементов. Так, например, при облучении альфа-частицами алюминия образуется атом нового элемента — фосфора, который, в свою очередь, в результате радиоактивного распада превращается в атом кремния. Теперь стало возможным получение искусственных радиоактивных элементов в количествах, дающих такое же излучение, как десятки и даже сотни граммов радия.

Так как в единицу времени в результате радиоактивного распада ядер выделяется незначительное количество энергии, то ядра атомов радиоактивных элементов можно назвать маломощными источниками внутриатомной энергии.

Радиоактивные изотопы, которые американцы грозят использовать в качестве боевых радиоактивных веществ, оказывающих вредное биологическое воздействие на человека при длительном и интенсивном облучении, в Советском Союзе широко используются в народном хозяйстве в самых различных областях науки и техники. Приведем некоторые примеры применения радиоактивных изотопов в мирных целях.

Гамма-излучение естественных и искусственных радиоактивных изотопов способно проникать через значительные толщи различных веществ. Этим свойством воспользовались металлурги для «просвечивания» металлических изделий и обнаружения в них изъянов (трещин, раковин). Кроме того, для «просвечивания» металла значительно проще и выгоднее доставить в нужное место радиоактивный препарат, чем громоздкую рентгеновскую установку.

В народном хозяйстве огромное применение получили краски, содержащие радиоактивные элементы. Они изготавливаются следующим образом. К специальным составам из сернистого цинка и меди добавляется незначительное количество радия. Под действием альфа-частиц, испускаемых ядрами атомов радия, сернистый цинк начинает «светиться». Этой краской покрывают на заводе циферблаты и другие детали и части, которые необходимо видеть обслуживающему персоналу ночью или в темноте.

В медицине широко используется радий для лечебных целей. Излучение радия задерживает развитие злокачественных опухолей. Огромное благотворное действие на человеческий организм оказывает лечение водой из минеральных радиоактивных источников и грязями. С помощью радиоактивных изотопов врачи определяют болезни щитовидной железы и потом намечают методы их лечения. Радиоактивные изотопы помогают обнаружить нарушения деятельности сердечно-сосудистой системы и т. д.

В поисках полезных ископаемых геологи, опуская в буровую скважину ионизационную камеру — прибор,

регистрирующий наличие радиоактивных атомов, легко обнаруживают залегание урана, радия, тория и других химических элементов.

Ученые давно мечтали о возможности «пометить» атомы так, чтобы можно было следить за их движением. Эта мечта в настоящее время осуществилась.

В науке и технике сейчас с успехом применяются так называемые «меченые» атомы. «Меченые» атомы — это атомы радиоактивных изотопов, ядра которых испускают альфа- и бета-частицы или гамма-лучи. Это излучение и позволяет обнаруживать «меченые» атомы среди обычных по вызываемой ими ионизации. Обнаружить радиоактивные атомы можно или с помощью фотопластинки, на которой они оставляют след в виде почернения, или с помощью специальных приборов-счетчиков.

Причем даже ничтожно малое количество этих радиоактивных веществ, т. е. «меченых» атомов, легко может быть обнаружено. Принцип исследования в этом случае заключается в том, что в изучаемую систему добавляют небольшое количество «меченых» атомов и «следят» за их движением. Такое ничтожно малое количество изотопа не оказывает химического воздействия на исследуемую систему, а следовательно, и не изменяет ее свойств.

Какие же проблемы могут быть решены с помощью «меченых» атомов? Приведем несколько примеров.

В состав веществ, которыми питается растение, входит много различных химических элементов. Среди этих элементов находится, например, и фосфор, который растения извлекают из почвы в виде солей фосфорной кислоты, так называемых фосфатов. Поэтому при недостатке фосфора в почве ее удобряют фосфатами.

Для повышения урожайности сельскохозяйственных культур очень важное значение имеет подкормка растений. До недавнего времени считалось, что минеральные соли поступают в растения в виде раствора через корни, а углекислый газ усваивается листьями. Практики сельского хозяйства заметили, что если при подкормке растений раствор с минеральными удобрениями вводить не в землю, а смачивать им листья, то растения развиваются быстрее. Агрономы стали предполагать, что питательные вещества могут попадать в растения не только с помощью корней, но и через листья. Но как проверить это? На помощь пришли «меченые» атомы.

Возьмем для примера фосфорное удобрение, содержащее радиоактивные и нерадиоактивные атомы фосфора. Известно, что эти оба рода атомов во всех природных процессах будут вести себя одинаково, поэтому и растение будет всасывать в равной степени молекулы, содержащие радиоактивные и нерадиоактивные атомы. Но первые из них — «меченые» атомы — легко обнаружить. Поэтому, подкармливая растения фосфатом, содержащим радиоактивный изотоп фосфора, ученые обнаружили, что удобрение, нанесенное на лист растения, поступает к плоду гораздо быстрее, чем удобрение идущее из почвы через корень.

Обнаружить это можно следующим образом. Возьмем два куста растений, например помидоров. Фосфатом, содержащим радиоактивный фосфор, вокруг одного куста польем почву, а у другого — нанесем такой же раствор на листья. Спустя несколько дней срежем оба растения, приложим к фотопластинке и оставим их так на несколько часов. После проявления пластинки мы заметим светлые места, которые и укажут нам расположение «меченых» атомов, т. е. атомов радиоактивного фосфора. На полученной таким образом фотографии растения, удобренного через листья, будет больше светлых мест. Это укажет нам на то, что через одинаковый промежуток времени удобрение быстрее поступает в растение, если оно вводится через листья.

Так, с помощью «меченых» атомов удалось успешно разрешить ряд важнейших проблем подкормки растений, изучить действие ускорителей роста, подобрать химические вещества для борьбы с вредителями сельского хозяйства, определить эффективность удобрений для данной сельскрхозяйственной культуры в зависимости от почвы и многие другие проблемы.

Подобного рода атомами можно «метить» и живые организмы. Так, например, давая животному пищу, в которой содержится радиоактивный фосфор, можно проследить за движением питательных веществ в организме животного, установить, скоро ли они поступают, какое их действие. Например, чтобы проследить, как далеко заходят в море мальки, выращиваемые на рыбозаводах, их помещают на некоторое время в воду, содержащую радиоактивный, т. е. «меченый», фосфор. Фосфор поступает в организм мальков и там отлагается в костях, плавниках,

чешуе. После этого мальков выпускают. В улове, полученном в море, определяется доля «радиоактивных» рыб. Таким образом следят за движением рыб, выращиваемых на заводах.

В медицине «меченые» атомы получили классическое применение для изучения обмена веществ в организме, обнаружения местоположения опухолей, для исследования различных процессов, происходящих в живых организмах, для исследования новых способов лечения болезней и других проблем.

Примерами исследований с помощью «меченых» атомов в медицине могут служить следующие.

Пища и вода, которые употребляет человек, содержат большое количество различных химических элементов, среди которых находится и такой элемент, как иод. Ученые обнаружили, что иод накапливается в щитовидной железе. При некоторых заболеваниях щитовидной железы она может поглощать ненормально высокую долю иода. Но как это проверить? Эту задачу ученые также разрешили с помощью «меченых» атомов иода. Для этой цели пациенту дают выпить очень небольшое количество иодистого калия, в состав которого добавляют радиоактивный иод. Эта небольшая доза «меченого» иода, являясь весьма радиоактивной, не оказывает влияния и не меняет общего количества иода, обращающегося в организме человека. Но радиоактивный иод испускает гамма-лучи. Поэтому, если после введения его вместе с иодистым калием подставить счетчик гамма-излучений к щитовидной железе (к горлу человека), то спустя несколько минут с помощью такого счетчика мы обнаружим, что атомы радиоактивного иода проникли в щитовидную железу. Ненормально большое количество, зарегистрированное счетчиком, радиоактивного иода, попавшего в железу, и укажет нам таким образом на ее заболевание.

В живом организме, кроме иода, железа и других химических элементов, всегда находится натрий.

Но как проследить за его движением в организме? Для этой цели человеку, например, дают выпить хлористый натрий (т. е. столовую соль), в состав которого введен радиоактивный натрий. Через несколько минут счетчик, зажатый в руке, регистрирует, что кровь принесла в руку эти «меченые» атомы. Следовательно, часть хлористого натрия проникает в кровь, что легко можно про-

контролировать, также взяв пробу крови. Так можно обнаружить, что натрий разносится кровью по всему телу, уходит в почки и выделяется из организма.

Примерами применения «меченых» атомов в науке и технике могут служить следующие.

«Мечеными» атомами пользуются в металлургии для определения структуры сплавов. Чтобы узнать, однородна ли структура сплава, в металл добавляют радиоактивный изотоп. После этого шлифуют поверхность сплава и кладут на него фотопластинку. Отпечаток показывает, равномерно ли распределился данный элемент в сплаве.

Для того чтобы проследить за движением газа, не имеющего ни цвета, ни запаха, тоже используются газы, молекулы которых содержат «меченые» атомы. Добавляя приготовленные таким путем газы к исследуемым и используя счетчики радиоактивных излучений, ученые легко определяют скорость движения газа в вентиляционных системах, в доменных печах и т. д.

Мы привели несколько примеров применения в различных областях науки и техники искусственно приготовленных радиоактивных атомов. Но природа, оказывается, сама метит атомы и этим облегчает производство различных научных исследований.

Как же образуются в природе без вмешательства человека «меченые» атомы?

Из межпланетного пространства на землю идут потоки быстро движущихся ядер атомов водорода, т. е. протонов, и ядер атомов других элементов. Этот поток частиц получил название космических лучей. Встречая на своем пути атомы азота и других газов, космические лучи разбивают их, в результате чего образуются новые осколки атомов — протоны, нейтроны, электроны и другие частицы. Следовательно, в состав космических лучей входят все элементарные частицы, в том числе и нейтроны. Наличие нейтронов в составе космических лучей является очень важным, ибо взаимодействие их с атомами различных элементов приводит к образованию радиоактивных элементов, т. е. «меченых» атомов.

Так, например, столкновение нейтрона с ядром атома азота приводит к образованию радиоактивного углерода. Период полураспада такого радиоактивного углерода составляет 6000 лет. Такой процесс происходит в земной атмосфере веками с одинаковой интенсивностью и днем,

и ночью, и зимой, и летом в огромных масштабах, что приводит к образованию в земной атмосфере радиоактивного углерода. Радиоактивный углерод преобразуется в радиоактивный углекислый газ. Проследим теперь за судьбой этого газа.

Радиоактивный углекислый газ поглощается, как известно, растениями и превращается в углеводы. Далее, радиоактивный углерод, содержащийся в углеводах растений, попадает с пищей в организмы животных. Доля радиоактивного углерода, попавшего таким образом в живые организмы, будет совершенно определенной, ибо количество радиоактивного углекислого газа в атмосфере постоянно. Поэтому при жизни растений распадающиеся атомы радиоактивного углерода все время пополняются за счет поглощаемого ими углекислого газа атмосферы, а у животных это пополнение идет за счет растений, потребляемых животными.

Но если животное или растение погибает, то такого пополнения распадающихся атомов радиоактивного углерода происходить уже не будет, а число их в умершем организме будет уменьшаться в строгом соответствии с законом радиоактивного распада. Иначе говоря, так как период полураспада радиоактивного углерода равен 6000 лет, то в умершем организме количество такого углерода через 6000 лет уменьшится вдвое, а через 12 000 лет — вчетверо, через 18 000 лет — в 8 раз и т. д. Следовательно, радиоуглерод служит как бы часами, с помощью которых можно определить время смерти животного или растения. Такие «часы» и используются учеными для определения возраста древних поселений и целого ряда раскопок. Действительно, если взять, например, кусок дерева, найденного в раскопках древнего поселения, то с помощью счетчика радиоактивных частиц можно определить количество оставшихся в нем атомов радиоактивного углерода. Прделав затем вычисления, можно определить, когда это дерево было срублено.

Таким же методом ученые определяют и возраст горных пород, в состав которых входят соединения углерода растительного или животного происхождения.

Приведенных примеров вполне достаточно, чтобы показать, какое широкое применение в различных областях науки и техники получили радиоактивные химические элементы — эти маломощные источники атомной энергии.

Использование атомной энергии деления ядер, постепенно высвобождающейся в атомных котлах

Для использования атомной энергии в мирных целях первостепенное значение имеют управляемые цепные реакции, развивающиеся с регулируемой скоростью. Как указывалось ранее, цепное деление ядер тяжелых элементов наблюдается в уране-235, уране-233 и у плутония.

Естественный уран (точнее химически чистый природный уран) представляет собой смесь трех изотопов: урана-238 (до 99,28 процента), урана-235 (до 0,714 процента) и урана-234 (до 0,006 процента). Из приведенных цифр видно, что доля урана-234 в естественном уране ничтожно мала и ею можно пренебречь. Следовательно, округляя процентное содержание урана до десятых долей процента, можно считать, что основными изотопами природного урана являются уран-238 (99,3 процента) и уран-235 (0,7 процента). Следовательно, в естественном уране его изотопа — урана-235 находится очень мало (рис. 36).

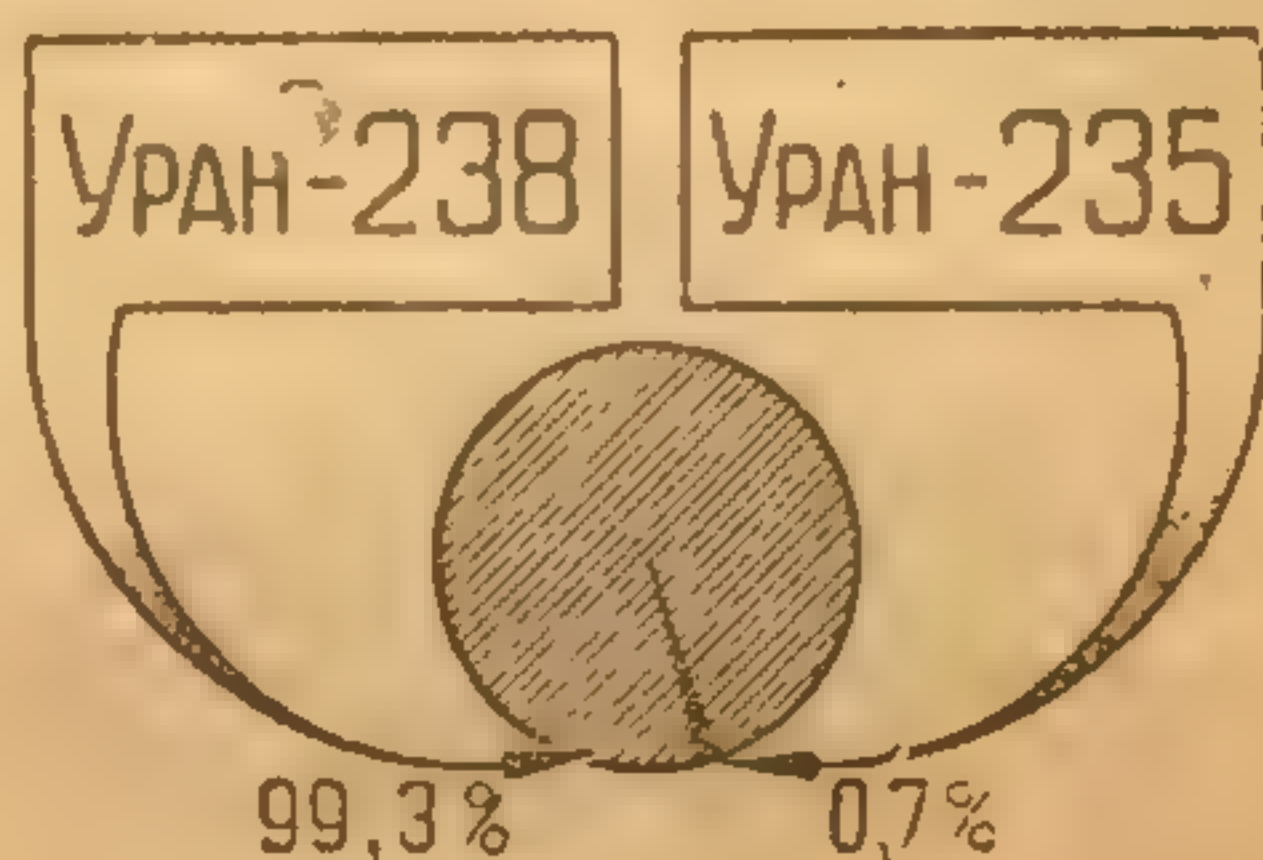


Рис. 36. Процентное содержание изотопов в естественном уране

Постепенное высвобождение внутриатомной энергии осуществляется в так называемых атомных (или урановых) котлах и основано на использовании различных свойств урана-235 и урана-238 по отношению к захвату нейтронов. При делении ядер образуются «быстрые» и «медленные» (или «тепловые») нейтроны. Для регулируемой цепной реакции пригодны только «медленные» нейтроны, так как вероятность деления ядра под действием такого нейтрона большая, чем под действием «быстрого». «Быстрые» нейтроны могут быть превращены в «медленные», если на их пути поставить замедлитель.

Простейшим способом высвобождения атомной энергии был бы способ, основанный на использовании урана-235. Но для этого его надо отделить от естественного урана. На практике же разделение изотопов урана является крайне трудным делом. Но высвободить ядерную энергию урана можно и без разделения естествен-

ного урана на изотопы. Для этого нужно создать условия, при которых возможна цепная ядерная реакция в естественном уране. Эти условия состоят в том, чтобы замедлить движение нейтронов. Тогда часть из них не будет захвачена ураном-238, и они смогут вызывать деление урана-235. При этом делении снова получатся нейтроны с большой энергией, и, если их движение замедлить, они вызовут деление новых ядер. Некоторая часть этих нейтронов будет захвачена ураном-238, что приведет к образованию нового элемента — плутония.



Рис. 37. Схема образования плутония

Действительно, уран-238, захватывая нейтрон, превращается в радиоактивный изотоп — уран-239, который путем двух самопроизвольных последовательных бета-распадов превращается сначала в ядро химического элемента нептуния, а затем в ядро элемента плутония, как это представлено на рис. 37. Часть ядер атомов плутония, получаемого таким образом в урановом котле, успевает разделиться, что также сопровождается выделением ядерной энергии.

Урановый котел — это фабрика по производству плутония и одновременно установка для управляемого высвобождения внутриядерной энергии. Основными элементами атомного котла являются «ядерное горючее» и замедлитель.

Урановый котел представляет собой сооружение, внутри которого расположен графитовый блок, заполненный

стержнями из естественного урана, как схематично показано на рис. 38. Эти стержни помещаются в соответствующее вещество, способное замедлять «быстрые» нейтроны, образовавшиеся в результате деления ядер урана-235. В качестве замедлителя обычно употребляется чистый графит или тяжелая вода (формула обычной воды — H_2O , а тяжелой — D_2O , т. е. вместо обычного легкого водорода на первом месте стоит тяжелый водород — дейтерий). Часть нейтронов, появившихся в результате

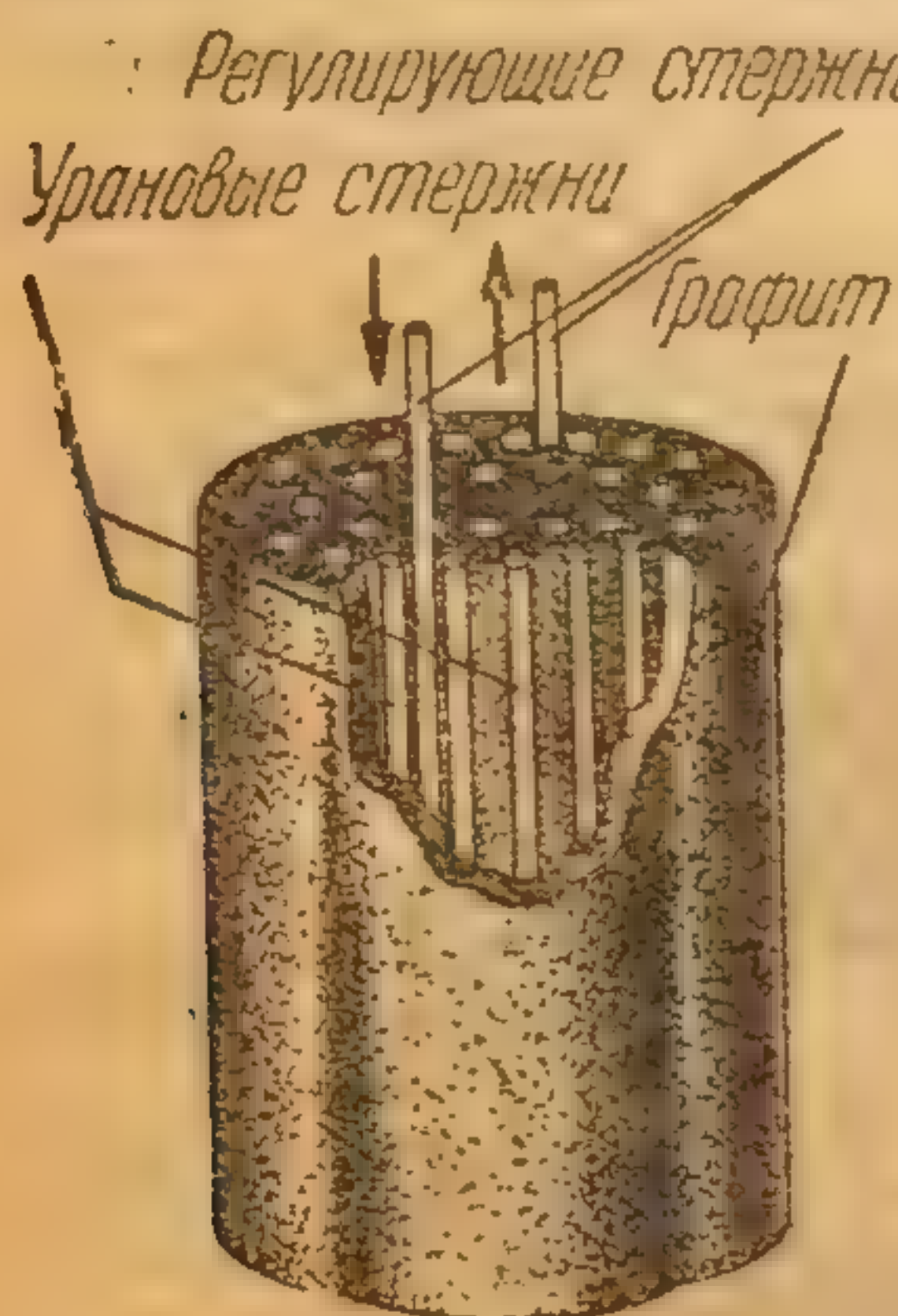


Рис. 38. Графитовый блок с урановыми стержнями

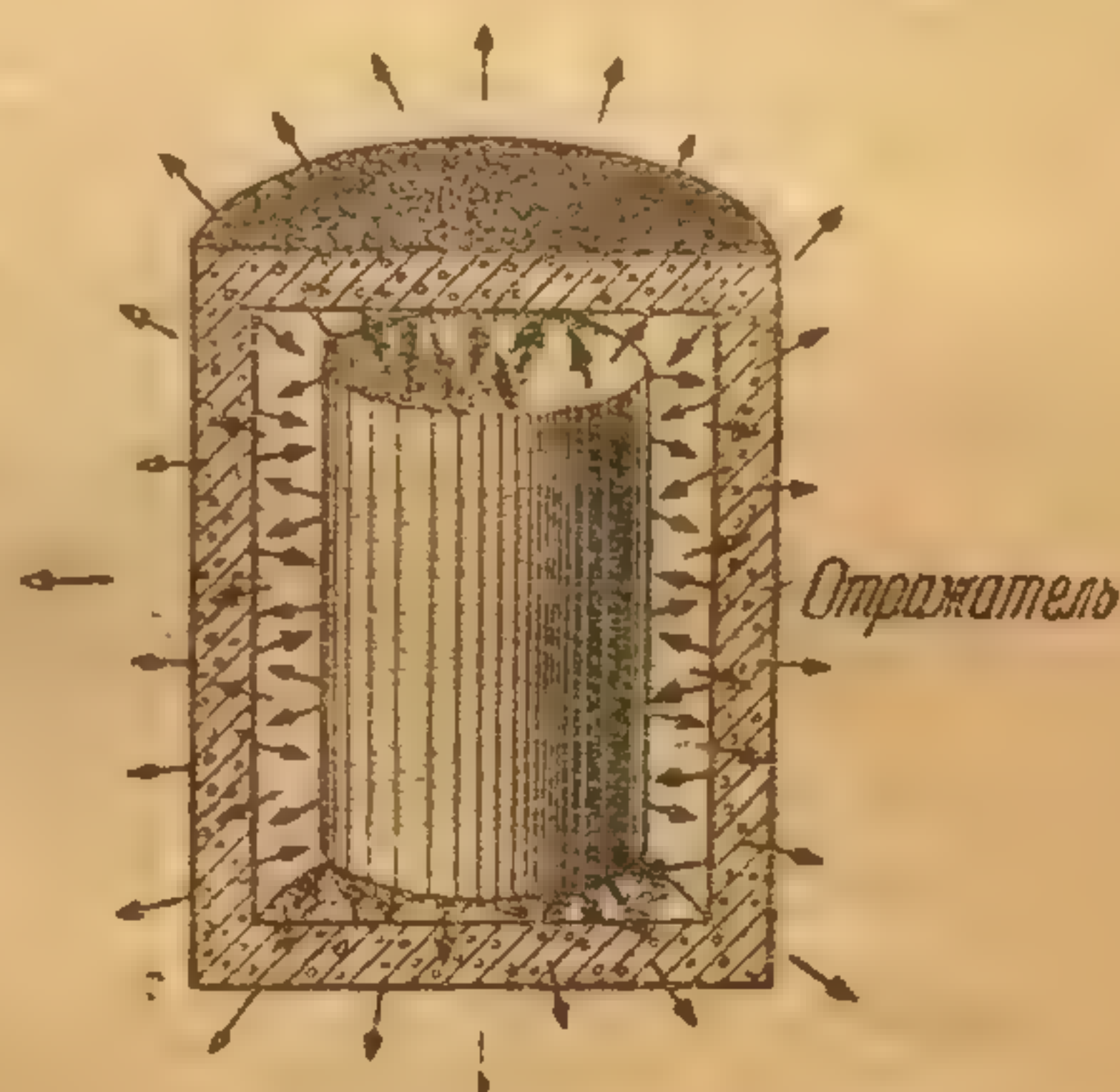


Рис. 39. Схема отражения вылетающих нейтронов в зону ядерной реакции

деления ядер урана, улетает из котла. Однако с помощью окружающей котел оболочки (например, из бериллия) эти нейтроны можно отразить и направить в зону ядерной реакции, как это показано на рис. 39. Использование отражателя позволяет уменьшить критический объем котла.

Одной из существенных особенностей урановых котлов является обязательное наличие так называемого биологического защитного слоя. Деление ядер урана в котле сопровождается образованием радиоактивных осколков, мощного потока нейтронов и гамма-излучения, которые вредно действуют на человека, вызывая тяжелые заболевания.

Это обстоятельство требует обязательной защиты персонала, обслуживающего урановый котел, от возможного

поражения. Для этой цели, как это показано на рис. 40, урановый котел окружают железобетонной рубашкой и слоем свинца или кадмия. Толщина защиты достигает двух метров. На каждый кубический метр котла требуется примерно 100 тонн защитного материала.

Как же используется атомная энергия, получаемая в урановом котле?

Для «зажигания», т. е. пуска, уранового котла используются нейтроны, образующиеся при самопроизвольном делении ядер урана. Такие нейтроны всегда имеются

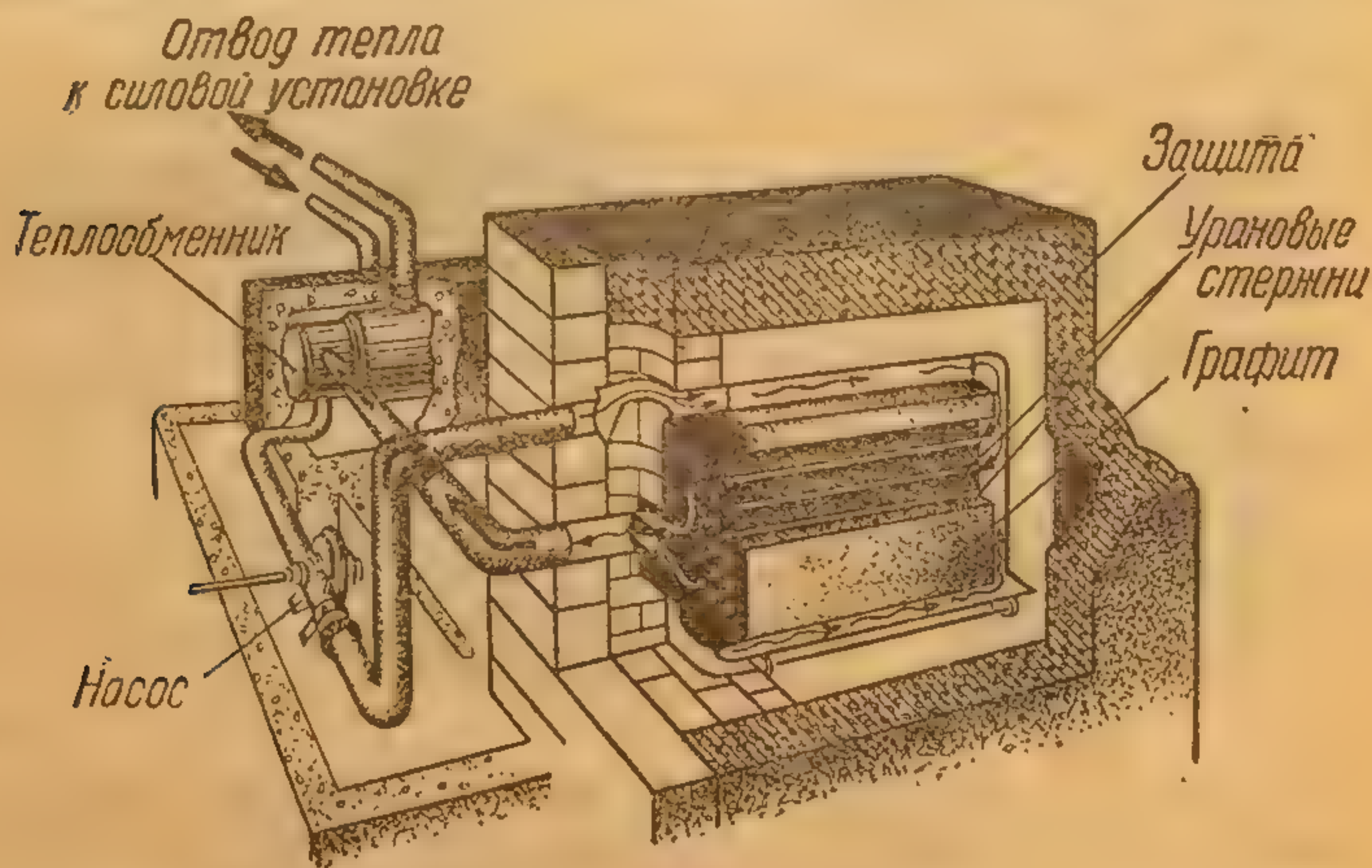


Рис. 40. Схема уранового котла на графитовом замедлителе

в урановом котле; поэтому когда котел не работает, регулирующие стержни (поглощающие нейтроны) должны быть полностью опущены.

При работе атомного котла в загруженном в него уране протекает регулируемая цепная реакция деления ядер. Осколки деления и нейтроны, замедляемые в графите или тяжелой воде, передают атомам замедлителя свою энергию. Замедлитель при этом нагревается. Для его охлаждения сквозь котел пропускают газ или воду, которые из котла выходят нагретыми. Для превращения тепловой энергии в электрическую нагретый газ пропускают через систему теплообменников, в результате чего вода в них превращается в пар. Пар затем используется для вращения электрического турбогенератора.

Таким образом, в урановом котле ядерная энергия может преобразовываться в электрическую или другие виды энергии и может использоваться затем в народном хозяйстве. Схемы двух таких атомных котлов представлены на рис. 40 и 41; в одном из них в качестве замедлителя используется графит, в другом — «тяжелая вода». Так можно себе представить теплоцентралы, где используется тепло, получаемое не при сжигании угля или торфа, а освобождаемое в урановых котлах.

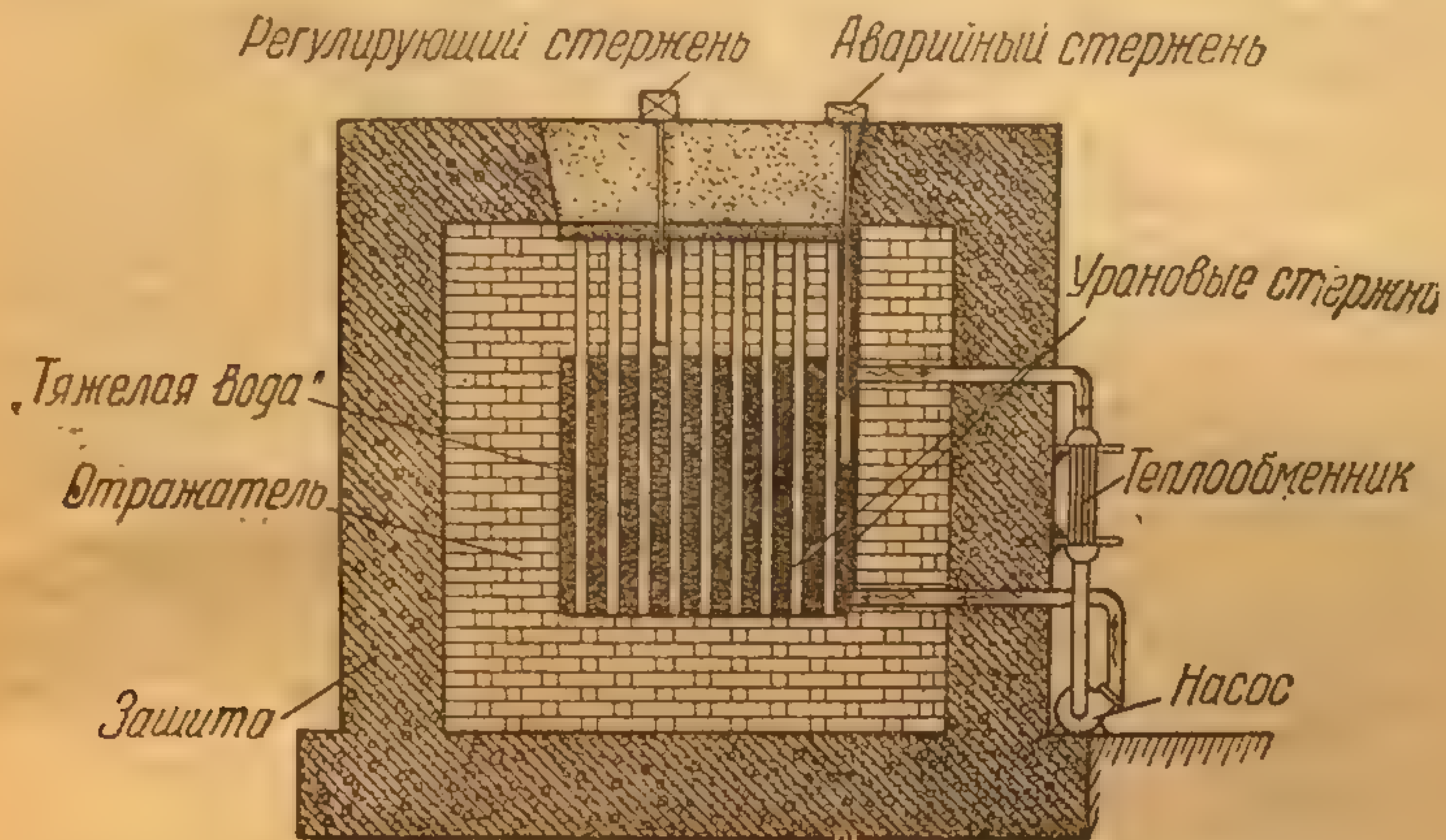


Рис. 41. Схема уранового котла, где замедлителем служит «тяжелая вода»

Огромное преимущество таких теплоцентралей на «атомном горючем» перед существующими заключается в том, что они требуют мало высококонцентрированного «атомного горючего» (урана). Правда, такие теплоцентралы довольно громоздки, а стоимость урановых котлов пока высока.

Количество энергии, выделяемое в урановом котле, очень велико. Так, например, для того, чтобы получить такую же энергию, какую вырабатывает Днепрогэс за год, нужно, чтобы в урановом котле произошло деление ядер всего-навсего 70 килограммов урана-235.

Использование атомной энергии, высвобождаемой при делении ядер атомов тяжелых химических элементов, в мирных целях в Советском Союзе стало реальностью.

С пуском первой в мире электростанции на атомной энергии в Советском Союзе еще более широким фронтом развернулись работы по дальнейшему использованию атомной энергии в мирных целях.

Перспективы применения атомной энергии

В настоящее время ученые работают над проблемой получения атомной энергии в установках малых размеров, так как громоздкость атомных котлов затрудняет широкое использование их для практических целей.

Учеными и практиками уделяется большое внимание вопросу использования атомных котлов на морских и океанских судах. Современный корабль поглощает большое количество топлива. Поэтому значительная часть полезного объема судна используется для заполнения топливом. Замена обычных корабельных двигателей атомными дает огромные преимущества, так как отпадает потребность в больших запасах угля и нефти. На освобожденной площади можно будет разместить громоздкий атомный котел. Использование атомного горючего даст большой эффект. В этом случае судно может длительное время находиться в плавании без захода в порт для пополнения топлива.

Применение атомно-силовых установок на локомотивах связано с решением той же проблемы облегчения биологической защиты атомных котлов. Замена существующих паровых двигателей атомными на железнодорожном транспорте станет реальностью, как только будет решена проблема облегчения защиты атомного котла.

Автомобили и самолеты имеют небольшой вес и сравнительно малые размеры, что ограничивает пока возможность перевода их на атомные двигатели.

Принципиальные схемы авиационных атомных двигателей в настоящее время уже разработаны. Они аналогичны схемам обычных реактивных двигателей, но вместо камер сгорания имеют атомный котел. А так как «атомное горючее» является высококонцентрированным, то и расход его будет очень мал. А это значит, что дальность полета самолета с атомным двигателем будет практически неограниченной, а скорости полета очень большие. Такой самолет должен быть оборудован дополнительным стартовым устройством.

Теория межпланетных сообщений уже давно разработана К. Э. Циолковским и другими русскими учеными. Расщепление ядра атома позволило открыть неограниченные запасы атомной энергии, что приблизило нас к осуществлению мечты о полетах в межпланетное пространство. Для вылета из сферы земного притяжения и для преодоления притяжения другой планеты при возвращении с нее на землю необходимо, естественно, на ракете иметь большие запасы горючего. Атомное топливо является именно таким концентрированным запасом энергии, позволяющим осуществить полет в межпланетное пространство. Следует, однако, заметить, что наличие источника энергии еще не решает всей проблемы космических полетов. Необходимо еще решить многие сложные технические вопросы, как-то: проблему взлета, создать конструкцию двигателя, решить проблему защиты ракеты от космической пыли и многое другое. Однако темпы развития ядерной физики таковы, что позволяют ожидать преодоления имеющихся трудностей.

Выше мы говорили о применении атомной энергии, получаемой в урановых котлах, где цепная реакция деления ядер атомов протекает медленно, с регулируемой скоростью. Если же реакция будет распространяться с большой скоростью, то это приведет к взрыву. Такие условия и создаются в атомной и водородной бомбах, при взрыве которых в короткий промежуток времени, исчисляемый миллионными долями секунды, выделяется огромное количество энергии.

Взрыв атомных бомб является непревзойденным по мощности источником энергии и может в недалеком будущем найти широкое применение в мирных целях. Представляется возможным использование атомных бомб для разработки полезных ископаемых, сооружения каналов, подрыва горных массивов и т. д. Взрыв атомной бомбы с зарядом в 1 килограмм урана может произвести работу, которую способны выполнить вручную за один день 250 000 рабочих.

Дальнейшее использование атомной энергии в мирных целях знаменует собой начало подлинной революции в науке и технике — начало века ядерной энергии.

Современное состояние ядерной науки и техники вполне позволяет получать колоссальные количества

атомной энергии и использовать их для промышленности, сельского хозяйства и транспорта.

В странах капитала атомная энергия не получила технического невоенного применения. Там еще больше усилились исследования военного применения ядерной энергии, накопления ядерных взрывчатых веществ и совершенствования атомного и водородного оружия.

Советский Союз, владея ядерной энергией, борется за мирное ее использование не потому, что мы слабы, а потому, что мы сильны. Советский Союз владеет атомным оружием для того, чтобы во-время остановить зарвавшихся агрессоров.

Наряду с этим Советский Союз первый в мире освоил промышленное мирное использование ядерной энергии. У нас уже работает ядерная электростанция, энергия которой используется сельским хозяйством и промышленностью. Выдающиеся достижения советской науки и техники в области атомной физики представляют собой грозное предупреждение всякому агрессору, являются мощным оружием в борьбе за мир, против развязывания новой войны.

Введ

Бещ
Стро
Есте
Деле
Терм
Опре
ем

Атом
Прин
Внеш
Пора
Боев
Осно

Испо
Испо
выс
Персп

Редакто
Техн. ре
Сдано в
Формат б
Г-
Из

Отпечатан
Упрад

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
I. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ АТОМНОЙ ФИЗИКИ	
Вещество и его строение	7
Строение атома и его ядра	9
Естественная и искусственная радиоактивность	15
Деление ядер и цепная ядерная реакция	20
Термоядерная реакция	30
Определение количества внутриатомной энергии, высвобожда- емой при ядерных превращениях	31
II. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В ВОЕННЫХ ЦЕЛЯХ	
Атомное и термоядерное оружие	37
Принцип устройства атомных и водородных бомб	39
Внешняя картина взрыва атомной бомбы	42
Поражающие факторы атомного оружия взрывного действия	49
Боевые радиоактивные вещества	62
Основы противоатомной защиты	64
III. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В МИРНЫХ ЦЕЛЯХ	
Использование атомной энергии радиоактивного распада ядер	71
Использование атомной энергии деления ядер, постепенно высвобождающейся в атомных котлах	79
Перспективы применения атомной энергии	84

Иван Артемович Науменко
АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Редактор Н. Н. Богданов
Техн. редактор А. С. Журавлев

Худож. редактор Б. А. Васильев
Корректор Л. И. Померанцева

Сдано в набор 22.1.1955 г.

Подписано к печати 1.3.1955 г.

Формат бумаги $84 \times 108 \frac{1}{32}$ физ. печ. л. = 2,75 усл. печ. л. 4,51 уч.-изд. л. = 4,521.

Г-10224.

Изд. № 1/482.

Зак. 46.

Издательство ДОСААФ, Москва, Б-66, Ново-Рязанская ул., дом 26.

Цена 1 руб. 35 коп.

Отпечатано с матриц 1-й типографии имени С. К. Тимошенко в 4-й типографии
Управления Военного Издательства Министерства Обороны Союза ССР.

Зак. 1181.

ИЗДАТЕЛЬСТВОМ ДОСААФ СССР

== выпущены ==

И ПОСТУПИЛИ В ПРОДАЖУ

следующие книги:

П. Мягков. Севастопольская оборона.
128 стр. Цена 1 руб. 95 коп.

П. Баранов. О моральном облике советского воина. 40 стр. Цена 35 коп.

«ДОСААФ СССР» (альбом). 16 стр. Цена
1 руб. 65 коп.

В. Успенский. Чемпион скоростного приема. 40 стр. Цена 90 коп.

Н. Баканов. Учись метко стрелять.
92 стр. Цена 1 руб. 55 коп.

А. Сорокин. Оборона Порт-Артура.
128 стр. Цена 1 руб. 40 коп.

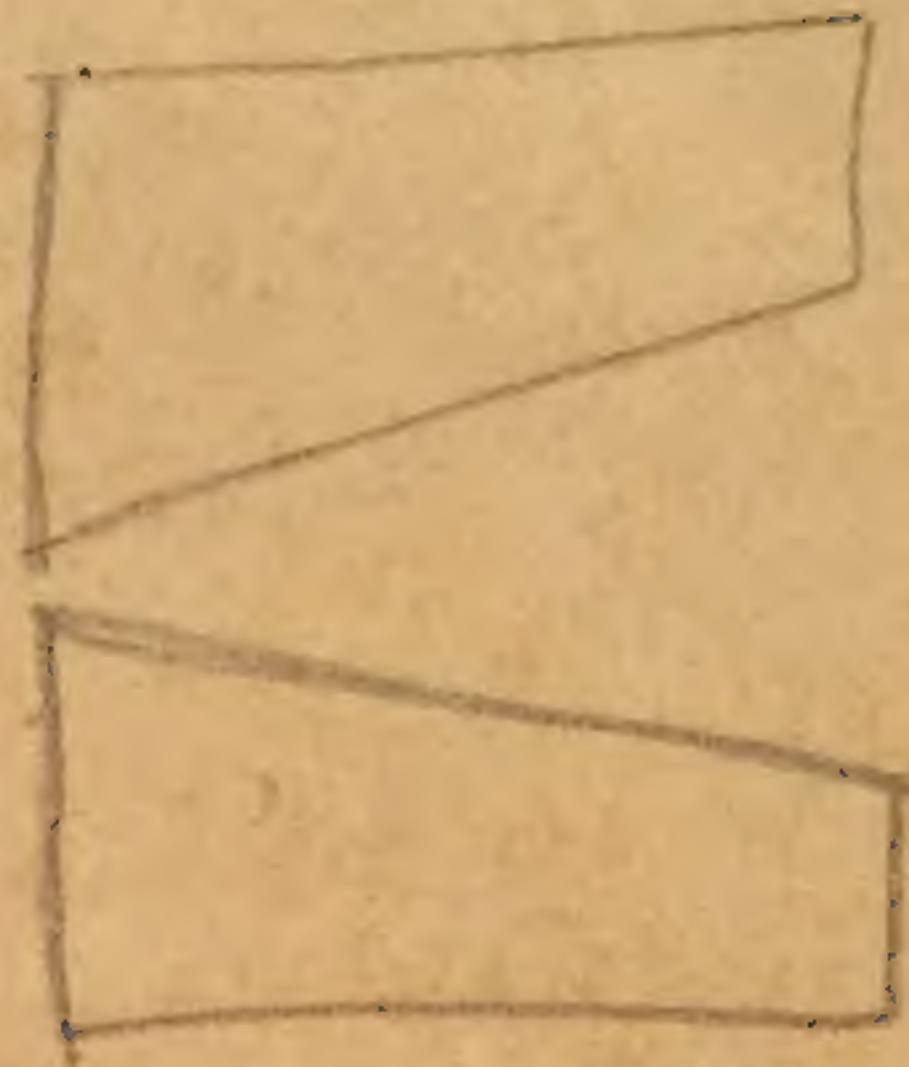
КНИГИ МОЖНО ПРИОБРЕСТИ

в книжных магазинах

ВОЕНКНИЖТОРГА („Военная книга“)

== КНИГОТОРГОВ ==

и в киосках Союзпечати



1 руб. 35 коп.